

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Propuesta de alternativas para la gestión de pantallas y monitores que contengan
tubos de rayos catódicos (CRT) contaminados con plomo (Pb)”**

Allison Sabrina Galagarza Muñoz

Cartago, noviembre, 2024



Propuesta de alternativas para la gestión de pantallas y monitores que contengan tubos de rayos catódicos (CRT) contaminados con plomo (Pb) © 2024 by Allison Sabrina Galagarza

Muñoz is licensed under [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

“Propuesta de alternativas para la gestión de pantallas y monitores que contengan tubos de rayos catódicos (CRT) contaminados con plomo (Pb)”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

M.Sc. Andrea Acuña Piedra
Directora

MBA. Lic. Luis R. Chacón Fernández
Lector 1

M.Sc. Jose Domenech
Lector 2

M.Sc. David Isasi Hernández Parra
Coordinador COTRAFIG

PhD. Guillermo Calvo Brenes
Director Escuela de Química

M.Sc. Diana A. Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A las personas recuperadoras de base, por sus grandes esfuerzos en la acción climática y con el deseo de que sus servicios ambientales sean cada vez más visibilizados y dignificados.

A todas las personas que luchan y creen que otros mundos son posibles, porque han logrado, sin saberlo, que el sueño de una de tantas niñas de barrios marginalizados hoy se materialice.

A mi sobrino Kaéll, por enseñarme a vivir y amar con valentía.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y a mi padre, por darme el privilegio de ser su hija, por apoyarme incondicionalmente en cada uno de mis sueños y por enseñarme a luchar con valentía.

A mis hermanas, Madison y Valeria, por amarme, cuidarme y guiarme en la vida con ternura.

A mis amigas: Sofía, Virginia, Daniela, Tiffany y Margaret, por tantas risas, lágrimas y amor compartido. Gracias por recibirme con las manos abiertas y acompañarme en el proceso, por enseñarme que las hermanas también se pueden elegir.

A la familia que formé durante mi estadía en Cartago: Nicole, Daniela Cortés, Melvin y Adriana, por todas las conversaciones alrededor de la mesa, por el amor, el cuidado y la fortaleza que me brindaron, y por enseñarme que un hogar puede crearse de muchas maneras y sentirse igual de cálido.

A la familia Barquero Cano, por acompañarme y cuidarme durante tantos años, por haber sido un gran apoyo a lo largo de toda mi carrera como estudiante, por hacerme sentir siempre en casa, y por transmitirme el amor familiar que persiste en su hogar.

A Gissel, María, Alexa y Yeiner por acompañarme en esta travesía académica, por todas las risas en el camino. Han hecho de esta experiencia algo más hermoso de lo que alguna vez imaginé.

A las profesoras Laura Hernández y Diana Zambrano, quienes, sin saberlo, me inspiran día a día como mujeres en una carrera STEM. Gracias por luchar desde la academia, por confiar en mí y por ser grandes ejemplos tanto a nivel profesional como personal.

A mi profesora tutora, Andrea Acuña, por su inspiración diaria, su comprensión, amor y apoyo durante este proceso. Gracias por ser una excelente guía y una persona increíble, y por confiar siempre en mí.

A Raquel Mejías, por brindarme tantas oportunidades y enseñanzas, gracias por depositar su confianza en mí.

A Luis Roberto Chacón por su excelente orientación, su apoyo y dedicación durante este proceso.

Al Ministerio de Salud, por su apoyo en la logística de esta investigación, y a los gestores de RAEE y las empresas que me abrieron sus puertas y amablemente compartieron su información.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
1 INTRODUCCIÓN	16
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo General.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 <i>GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RAEE EN COSTA RICA</i>	19
2.1.1 Generalidades sobre los RAEE.....	19
2.1.2 Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (GIRE)	20
2.1.2.1 Responsabilidad extendida del productor (REP).....	20
2.1.2.2 Responsabilidad compartida	20
2.1.2.3 Unidades de Cumplimiento.....	21
2.1.2.4 Gestor de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos Autorizado	21
2.1.2.5 Prohibiciones.....	21
2.1.2.6 Gobernanza en la GIRE	21
2.1.3 Etapas de la gestión de RAEE	22
2.1.3.1 Etapa 1: Recepción y almacenamiento temporal de los RAEE.....	22
2.1.3.2 Etapa 2: Acopio o almacenamiento de RAEE.....	22
2.1.3.3 Etapa 3: Desensamblaje y Preparación para la valorización	23
2.1.3.4 Etapa 4: Exportación de RAEE.....	23
2.2 <i>PROBLEMÁTICAS EN LA GESTIÓN DE RAEE</i>	23
2.2.1 Procedimiento para la exportación	23
2.2.2 Recuperadores de base	24
2.3 <i>PANTALLAS Y MONITORES CON TUBOS DE RAYOS CATÓDICOS (CRT)</i>	25
2.3.1 Definición y Composición.....	25
2.3.2 Caracterización del vidrio CRT	27
2.3.3 Problematical del Pb en CRT.....	28
2.4 <i>GESTIÓN ACTUAL DE LAS PANTALLAS Y MONITORES CON CRT EN COSTA RICA</i>	28
2.4.1 Etapa 1: Recepción y almacenamiento temporal	29
2.4.2 Etapa 2: Acopio o almacenamiento	29
2.4.3 Etapa 3: Desensamblaje y Preparación para la valorización.....	30

2.4.4	Etapa 4: Exportación	30
2.5	<i>ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE LOS CRT</i>	31
2.5.1	Valorización.....	31
2.5.1.1	Recuperación del Plomo	31
2.5.1.2	Agente fundente	32
2.5.1.3	Exportación del vidrio CRT	32
2.5.1.4	Otras alternativas de gestión	32
2.5.2	Tratamiento y Disposición.....	33
2.5.2.1	Relleno sanitario con estabilización de los vidrios CRT	33
3	METODOLOGÍA	34
3.1	<i>IDENTIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT</i>	34
3.1.1	Literatura académica.....	34
3.1.2	Encuestas acerca de la gestión de los CRT	34
3.1.3	Entrevistas a gestores de RAEE y Unidades de Cumplimiento	35
3.2	<i>INDAGACIÓN DE OPCIONES GLOBALES Y LOCALES PARA LA GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT</i>	35
3.3	<i>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO</i>	36
3.3.1	Criterios de evaluación y sistema de puntuación	36
3.3.1.1	Criterios Ambientales.....	39
3.3.1.2	Criterio Social	40
3.3.1.3	Criterios de Gobernanza.....	41
3.3.2	Entrevistas a empresas.....	42
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1	<i>GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT EN COSTA RICA</i>	42
4.1.1	Unidades de Cumplimiento	42
4.1.1.1	Información general	42
4.1.1.2	Gestión de las pantallas y monitores con CRT	45
4.1.1.3	Desafíos, riesgos e interés en alternativas de gestión.....	48
4.1.2	Gestores de RAEE	50
4.1.2.1	Información general	50
4.1.2.2	Gestión de las pantallas y monitores con CRT	52
4.1.2.3	Desafíos, riesgos e interés en alternativas de gestión.....	59
4.1.3	Recuperadores de base.....	62

4.1.3.1	Información general	62
4.1.3.2	Gestión de las pantallas y monitores con CRT	65
4.1.3.3	Desafíos, riesgos e interés en alternativas de gestión.....	68
4.2	<i>INDAGACIÓN DE OPCIONES GLOBALES Y LOCALES PARA LA GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT.....</i>	71
4.2.1	Exportación de unidad CRT.....	71
4.2.2	Extracción del plomo.....	72
4.2.3	Concreto	73
4.2.4	Vitrocerámicas	75
4.2.5	Material cementante suplementario	77
4.2.6	Agente fundente	79
4.2.7	Disposición en celdas de seguridad para residuos peligrosos	80
4.3	<i>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO.....</i>	82
5	CONCLUSIONES	87
6	RECOMENDACIONES.....	88
6.1	<i>RECOMENDACIONES CON RESPECTO A LAS GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT.....</i>	88
6.2	<i>RECOMENDACIONES CON RESPECTO A LA METODOLOGÍA Y LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO.....</i>	90
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	ANEXO LEGISLATIVO	98
	APÉNDICES.....	100
	APÉNDICE 1. Instrumento de encuesta para gestores con el fin de determinar la gestión de CRT	100
	APÉNDICE 2. Instrumento de encuesta para Unidades de Cumplimiento con el fin de determinar la gestión de CRT.....	109
	APÉNDICE 3. Instrumento de encuesta para recuperadores de base con el fin de determinar la gestión de CRT.....	117
	APÉNDICE 4. Oficio MS-DPRSA-0687-2023 para la obtención de información de gestores de RAEE y Unidades de Cumplimiento	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Etapas del movimiento transfronterizo de RAEE	24
Figura 2.2. Estructura de un-CRT	26
Figura 3.1. Puntuación de los métodos de evaluación.....	38
Figura 4.1. Información general de las Unidades de Cumplimiento encuestadas	43
Figura 4.2. Categorías de RAEE recolectadas por Unidades de Cumplimiento	44
Figura 4.3. Procedencia de RAEE	44
Figura 4.4. Cantidad de Unidades de Cumplimiento que recolectan o han recolectado CRT	45
Figura 4.5. Cantidad de Unidades de Cumplimiento que han comercializado CRT en algún momento	46
Figura 4.6. Costo aproximado para la recolección y gestión integral de los residuos con CRT	47
Figura 4.7. Razones por las que no recolectan o dejaron de recolectar pantallas con CRT .	48
Figura 4.8. Cantidad de Unidades de Cumplimiento que cuentan con metas de recolección de residuos de pantallas y monitores	48
Figura 4.9. Cantidad de Unidades de Cumplimiento interesadas en alternativas adicionales	49
Figura 4.10. Ubicación de instalaciones y categorías de RAEE recibidas por los gestores encuestados.....	51
Figura 4.11. Procedencia de RAEE	52
Figura 4.12. Cantidad de Gestores de RAEE que recolectan CRT.....	53
Figura 4.13. Cantidad de Gestores de RAEE que reciben el yugo de las pantallas con CRT	53
Figura 4.14. CRT después del desensamble	55
Figura 4.15. Gestión actual de los residuos con CRT y sus fracciones peligrosas	56
Figura 4.16. Exportaciones realizadas en los últimos 5 años	57
Figura 4.17. Gestión que reciben los residuos con CRT cuando son entregado a otros gestores	58

Figura 4.18. Razones de no exportar residuos con CRT	58
Figura 4.19. Razones por las que no reciben pantallas con CRT	59
Figura 4.20. Desafíos que presentan como gestores de RAEE	60
Figura 4.21. Conocimiento de alternativas de gestión para los residuos con CRT	61
Figura 4.22. Información general de las personas recuperadoras de base encuestadas.....	63
Figura 4.23. Medio utilizado para la recolección de residuos	64
Figura 4.24. Residuos recuperados por recuperadores de base	65
Figura 4.25. Cantidad de recuperadores de base que recolectan CRT	66
Figura 4.26. Razones de no recolectar residuos con CRT	66
Figura 4.27. Cantidad de pantallas con CRT recolectados al año	67
Figura 4.28. Lugares donde se recuperan las pantallas con CRT	67
Figura 4.29. Dificultades que enfrenta el sector informal	69
Figura 4.30. Uso y equipos de protección utilizados.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Composiciones químicas para vidrio CRT (Tomado de [15]).	27
Tabla 3.1. Metodología para evaluar la viabilidad de las alternativas de gestión para los vidrios CRT.....	38
Tabla 3.2. Valores admisibles de Pb en suelo y agua utilizados para comparar la lixiviación de Pb en las alternativas.....	40
Tabla 4.1. Resumen de información sobre las alternativas de gestión para vidrios CRT en Costa Rica.....	83
Tabla 4.2. Evaluación final de las alternativas de gestión para los vidrios CRT en Costa Rica	84

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ABS	Plásticos Acrilonitrilo Butadieno Estireno
ACEPESA	Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente
AEE	Aparatos Eléctricos y Electrónicos
Al	Aluminio
Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio
BFR	Retardantes de llama bromados
CANAREV	Cámara Nacional de Recuperadores de Residuos Valorizables
CaO	Óxido de calcio
CCSS	Caja Costarricense del Seguro Social
Cd	Cadmio
CEGIRE	Comité Ejecutivo para la Gestión Integral de Residuos Electrónicos
CEMPRO	Cementos Progreso Costa Rica
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
Cu	Cobre
CRT	Tubos de rayos catódicos
EE. UU	Estados Unidos
ENSRV	Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
FA	Cenizas volantes
GGBS	Escoria granulada de alto horno
GIRE	Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
Hg	Mercurio
LAC	América Latina y el Caribe

LCDs	Pantallas de cristal líquido
LED	Pantallas de diodos de luz
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
Pb	Plomo
PbO	Óxido de plomo
PbO ₂	Óxido de plomo (IV)
PDP's	Pantallas de plasma
PbS	Galena
PbSO ₄	Sulfato de plomo
POM	Polioximetileno
PS	Poliestireno
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
RED CONCERVA	Red Costarricense de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
SiO ₂	Dióxido de silicio
SINAGIRE	Sistema Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos
SPLP	1312 del EPA Procedimiento de lixiviación por precipitación sintética
TCLP	1311 del EPA Procedimiento de lixiviación de características de toxicidad
VICESA	Vidriera Centroamericana
ICP-MS	Espectrometría de Masas con Plasma acoplado Inductivamente

RESUMEN

Ante el incremento en la generación de residuos con tubos de rayos catódicos (CRT), considerados peligrosos por su contenido de plomo, la falta de alternativas rentables de reciclaje local y la complejidad de exportación que agravan la gestión de estos residuos, se desarrolló una propuesta de alternativas para su gestión, utilizando una evaluación multicriterio para identificar opciones viables para el país. Se realizaron encuestas y entrevistas a actores clave para evaluar la situación actual, se revisó literatura sobre posibles soluciones, y se contactó a empresas con potencial de colaborar en innovaciones futuras. Actualmente, los residuos con CRT se desensamblan manualmente, pero no se exportan por la falta de volumen suficiente, y pocos gestores realizan exportaciones. Según la evaluación, las mejores alternativas de gestión son la extracción de plomo, el uso como agente fundente y la fabricación de concreto. Estas opciones superan en puntuación a la exportación de CRT, que no se considera la solución más viable de acuerdo con los criterios planteados.

Palabras clave: residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), tubos de rayos catódico (CRT), plomo (Pb), recuperadores de base

ABSTRACT

Due to the increase in waste generation from cathode ray tubes (CRTs), considered hazardous because of their lead content, the lack of cost-effective local recycling alternatives, and the complexity of exportation that exacerbates the management of this waste, a proposal for alternatives for its management was developed using a multicriteria evaluation to identify viable options for the country. Surveys and interviews with key stakeholders were conducted to assess the current situation, literature on possible solutions was reviewed, and companies with potential to collaborate on future innovations were contacted. Currently, CRT waste is manually disassembled, but not exported due to insufficient volume, and few waste electrical and electronic equipment management carry out exports. According to the evaluation, the best management alternatives are lead extraction, use as a flux agent, and concrete manufacturing. These options score higher than CRT exportation, which is not considered the most viable solution according to the criteria set out.

Keywords: waste electrical and electronic equipment (WEEE), cathode ray tubes (CRT), lead (Pb), independent recyclers.

1 INTRODUCCIÓN

Los tubos de rayos catódicos (CRT, por sus siglas en inglés) o televisores de “cajón”, fueron una tecnología predominante en televisores y monitores. A causa del avance tecnológico y la complejidad de tratarlos, se han sustituido en los últimos años por pantallas planas de cristal líquido, por lo que la comercialización de pantallas con CRT muestra tendencias a desaparecer [1].

Esto ha provocado el incremento en la generación de este tipo de residuos, convirtiéndose en una de las mayores preocupaciones a nivel global con respecto a la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) [1].

Los televisores y monitores con CRT están compuestos por un 85% de vidrio, del cual el 65% es vidrio de pantalla, 30% vidrio de embudo y un 5% vidrio de cuello, unidos por un tipo de vidrio cargado de plomo (Pb) [1]. El Pb es una de las causas de que los CRT sean considerados como residuos peligrosos.

Aunque existen tecnologías de reciclaje de vidrio CRT basados principalmente en la extracción de Pb o en la producción de otros compuestos a partir de componentes de CRT, el reciclaje no es lucrativo debido a su declive en el mercado [2]. Se estima que a nivel global alrededor del 26,75% de los CRT desechados se reciclan, el 59% se depositan en rellenos sanitarios y el 14,75% se incineran [1].

Por otro lado, las pantallas y monitores con CRT son un desafío actual en la gestión de los RAEE para los países en desarrollo, pues se encuentran en riesgo de convertirse en los destinos finales para la disposición de este tipo de residuos [1].

Aunque todos los países de América Latina y el Caribe (LAC, por sus siglas en inglés) han ratificado el Convenio de Basilea y prohíben la importación de residuos peligrosos, no tienen prohibiciones específicas para la exportación de estos, incluidos los RAEE [3].

Las principales razones por las que los gestores de LAC exportan RAEE, incluidos los CRT, se debe a la falta de alternativas de valorización y procesamiento locales [4], lo que les obliga a buscar opciones en el exterior, obteniendo al mismo tiempo mejores precios por los

materiales en comparación a los precios que se pueden obtener localmente con intermediarios [3].

Otras problemáticas que enfrentan los países de LAC en la gestión de los RAEE es la recolección y el manejo informal, que continúa predominando por encima del sector formal [5]. Los operadores formales se encuentran en desventaja pues deben enfrentarse a una serie de requerimientos u obligaciones relacionados con la regulación de las operaciones y por el costo de las inversiones financieras [6].

Esta situación no es diferente a la de Costa Rica; D. Ott, C. A. Hernández y N. Lora [3] determinaron que gestores autorizados de RAEE no exportan monitores o vidrios CRT a causa de la complejidad del proceso y, el costo de exportación y tratamiento en el exterior.

Al 2021 el país contaba con una generación de 13,5 kg RAEE/hab/año donde el 12% correspondían a monitores y pantallas. Se estima que, del total de residuos de pantallas y monitores, el 11% correspondían a televisores y monitores con CRT, sin embargo, no se tiene certeza de la cantidad de residuos CRT que son recolectados y la gestión que se les da [7], [8], [9], [L1].

Por lo tanto, este trabajo busca identificar la gestión actual de las pantallas y monitores con CRT en el país y examinar opciones de valorización, tratamiento y disposición final que se realizan a nivel mundial, con el fin de evaluar alternativas para la gestión de pantallas y monitores con CRT y proponer aquellas que mejor se adapten a la situación del país para la promoción nacional.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Desarrollar una propuesta de alternativas para la gestión de pantallas y monitores que contengan tubos de rayos catódicos (CRT) contaminado con plomo (Pb) en Costa Rica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar la gestión que se brinda a las pantallas y monitores con CRT a nivel país
- Indagar opciones de valorización, tratamiento y disposición final implementadas tanto a nivel mundial como en Costa Rica para la gestión de las pantallas y monitores con CRT
- Evaluar alternativas de gestión de pantallas y monitores con CRT mediante un análisis multicriterio

2 MARCO TEÓRICO

2.1 GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RAEE EN COSTA RICA

2.1.1 Generalidades sobre los RAEE

Los RAEE son aquellos residuos que se derivan de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), sean de uso doméstico o comercial, después de finalizar su vida útil. Además, los componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte de los AEE se encuentran dentro de esta categoría [L2].

Estos residuos pueden clasificarse según el tipo o tamaño del producto. De acuerdo con la Directiva RAEE de la Unión Europea y las “Directrices sobre estadísticas de residuos electrónicos”, se pueden clasificar en seis categorías según su similitud, su tamaño y requerimientos de tratamiento y riesgo de afectación a la salud o de contaminación [6]:

1. **Aparatos de intercambio de temperatura:** se incluyen refrigeradores, congeladores, aparatos de aire acondicionado y las bombas de calor.
2. **Pantallas y monitores:** se incluyen televisores y monitores de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés), de diodos emisores de luz (LED) y de CRT, computadores portátiles y tabletas electrónicas se encuentran en esta categoría.
3. **Lámparas:** se incluyen lámpara LED, lámparas de descarga de alta intensidad y lámparas fluorescentes compactas y de tubo recto.
4. **Grandes aparatos:** se incluyen lavadoras, lavaplatos, hornos y sistemas de calefacción central, impresoras profesionales y paneles fotovoltaicos.
5. **Pequeños aparatos:** se incluyen microondas, parrillas, tostadoras, productos de higiene personal, altavoces, cámaras, equipos de audio y auriculares, juguetes, herramientas domésticas y sistemas médicos y de monitoreo.
6. **Pequeños aparatos de informáticos y de telecomunicaciones:** se incluyen computadoras de mesa personales, impresoras, teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, teclados, enrutadores y consolas.

A su vez, los RAEE están clasificados en Costa Rica como residuos de manejo especial y prioritarios, los cuales hacen referencia a aquellos residuos que representan un alto potencial de valorización y un riesgo significativo para la salud humana y el ambiente debido a su composición, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje, formas de uso o valor de recuperación, o por una combinación de estos [L3].

Estos residuos requieren una gestión integral distinta a la de los residuos ordinarios, por lo que en Costa Rica se creó en el 2014 el Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial N.º 8272-S. Anteriormente, en el año 2010 se había decretado el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos N.º 35933-S [L2].

2.1.2 Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (GIRE)

Se define como gestión integral de residuos al conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final [L3].

Para implementar la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (GIRE) existen principios, estructuras legales, prohibiciones, entre otras declaraciones que el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos establece, de las cuales se puede mencionar:

2.1.2.1 Responsabilidad extendida del productor (REP)

El productor o importador tiene la responsabilidad del producto durante todo el ciclo de vida de este, incluyendo los impactos en la selección de los materiales y del proceso de producción, así como los relativos al uso y disposición final.

Los productores o importadores tienen la responsabilidad de informar a las personas consumidoras finales sobre la GIRE y los puntos de recolección autorizados [L2].

2.1.2.2 Responsabilidad compartida

Hace referencia a que la gestión de los residuos requiere de la participación conjunta, coordinada y diferenciada de los productores, importadores, distribuidores, consumidores y gestores de residuos tanto públicos como privados [L2].

2.1.2.3 Unidades de Cumplimiento

Son estructuras legales conformadas por productores o importadores que permiten adherirse a la implementación del principio de REP y cumplir con los lineamientos técnicos y ambientales nacionales, además deben estar registradas ante el Ministerio de Salud [L2].

Estas Unidades son responsables de desarrollar e implementar el Plan de Cumplimiento de la REP, que incluye mecanismos y acciones específicas para una adecuada GIRE [L2].

2.1.2.4 Gestor de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos Autorizado

Se define como persona física o jurídica, pública o privada, encargada de la gestión total o parcial de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, autorizadas para ese fin, conforme a lo establecido en la legislación nacional [L3]. Los gestores de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos deben registrarse ante el Ministerio de Salud y cumplir con la legislación nacional, para ello deben de garantizar un tratamiento ambiental y sanitario seguro, además de reportar al Ministerio de Salud anualmente los volúmenes y tipos de residuos gestionados.

2.1.2.5 Prohibiciones

En Costa Rica está prohibido realizar la disposición final de los RAEE en sitios no autorizados o disponerlos como residuos ordinarios, a su vez está prohibida la recepción de estos residuos sin ser gestores de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos autorizados o comercializar AEE en territorio nacional sin estar registrado en una Unidad de Cumplimiento [L2].

En cuanto a movimientos transfronterizos, al Costa Rica ratificar el Convenio de Basilea se le prohíbe importar residuos peligrosos, incluidos los RAEE. Sin embargo, es permitida la importación de los AEE usados siempre y cuando: se determine que no existe un riesgo para la salud o el ambiente, no estén obsoletos y que sean destinados exclusivamente para reuso [L3], [L4].

2.1.2.6 Gobernanza en la GIRE

Tanto las Unidades de Cumplimiento como los gestores de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos autorizados, deben registrarse y reportar ante el Ministerio de Salud, que es el ente encargado de garantizar la implementación del Sistema Nacional para la Gestión Integral

de los Residuos Electrónicos (SINAGIRE). Este sistema busca establecer un marco de acción para una gestión integral efectiva y eficiente de los RAEE. A través del Comité Ejecutivo para la Gestión Integral de Residuos Electrónicos (CEGIRE), se implementan los objetivos del SINAGIRE, incluyendo la elaboración de guías técnicas, mantenimiento de registros actualizados de las Unidades de Cumplimiento y gestores autorizados, y el desarrollo de metodologías para definir metas de recuperación [L2].

2.1.3 Etapas de la gestión de RAEE

En el 2016 el Ministerio de Salud publicó la *Guía Técnica de Gestión Integral de Residuos Eléctricos y Electrónicos, decreto N.º DM-CB-8016-2016* [L5], la cual fue elaborada por el CEGIRE y va dirigida a todos los involucrados en la GIRE. Esta guía tiene como objetivo plantear un procedimiento para cumplir con la adecuada GIRE, la cual se divide en cuatro etapas: recepción y almacenamiento temporal, acopio y almacenamiento, desensamblaje y preparación para la valorización, y exportación de RAEE.

2.1.3.1 Etapa 1: Recepción y almacenamiento temporal de los RAEE

En esta etapa las Unidades de Cumplimientos implementan el principio de la REP y recuperan los RAEE una vez finalizada su vida útil. Se puede realizar a través de tres vías distintas: puntos de recolección temporales, eventos de recolección de RAEE y entregas directas de RAEE a centros de recuperación de residuos valorizables.

Es necesario establecer en las tres vías, un procedimiento de clasificación, identificación, etiquetado, pesaje y registro de los RAEE que se recuperan.

2.1.3.2 Etapa 2: Acopio o almacenamiento de RAEE

Esta etapa es realizada por centros registrados como gestores de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos autorizados, que deben cumplir con lo que se dicta en el Decreto Ejecutivo N.º 41052-S Reglamento de Centros de Recuperación de Residuos Valorizables (o las actualizaciones que sufra el mismo) y mantener registros de inventarios y movimientos de los RAEE recibidos.

Para mejorar las condiciones de almacenamiento, se es obligatorio realizar esta etapa a temperatura ambiente en lugares protegidos de la intemperie, utilizar contenedores debidamente rotulados para clasificar los RAEE, distribuir el área de almacenamiento por

tipos de RAEE y respetar la capacidad de almacenaje. Además, los monitores y pantallas deben ser embalados adecuadamente para prevenir que se rompan [L5].

2.1.3.3 Etapa 3: Desensamblaje y Preparación para la valorización

La descontaminación y la preparación para la valorización de los RAEE, así como su reparación y perfeccionamiento, deben ser realizados por gestores de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos autorizados [L4], [L5].

En esta etapa, el personal debe tener especialización técnica para comprender los procesos y las medidas de seguridad involucradas. Las obligaciones incluyen mantener un registro de los RAEE procesados, reportar anualmente al Ministerio de Salud sobre inventarios por volumen y tipo de residuo, conservar registros de movimientos por al menos 5 años, y garantizar la trazabilidad de los residuos mediante un control de los materiales de entrada y salida, así como de las empresas receptoras. También es esencial separar los materiales valorizables no peligrosos de los peligrosos para evitar contaminación [L5].

2.1.3.4 Etapa 4: Exportación de RAEE

Los gestores autorizados deben cumplir con los procedimientos establecidos en el Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos N° 37567-S-MINAET-H y el Convenio de Basilea, tratado internacional sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación, el cual Costa Rica ratificó en el año 1995.

De acuerdo con el Convenio de Basilea los RAEE están clasificados como peligrosos, por lo que requieren trámites especiales y el país destino de exportación debe contar con infraestructura y los procedimientos adecuados para el manejo de estos residuos [L4].

2.2 PROBLEMÁTICAS EN LA GESTIÓN DE RAEE

2.2.1 Procedimiento para la exportación

El proceso para la exportación de RAEE está sujeto a regulaciones entre países, lo que generalmente implica tiempos de espera prolongados y dificulta la practicidad del

procedimiento. Como resultado, muchos gestores que exportan fracciones valiosas provenientes de RAEE optan por no utilizar esta alternativa. La Figura 2.1. muestra este procedimiento en detalle.

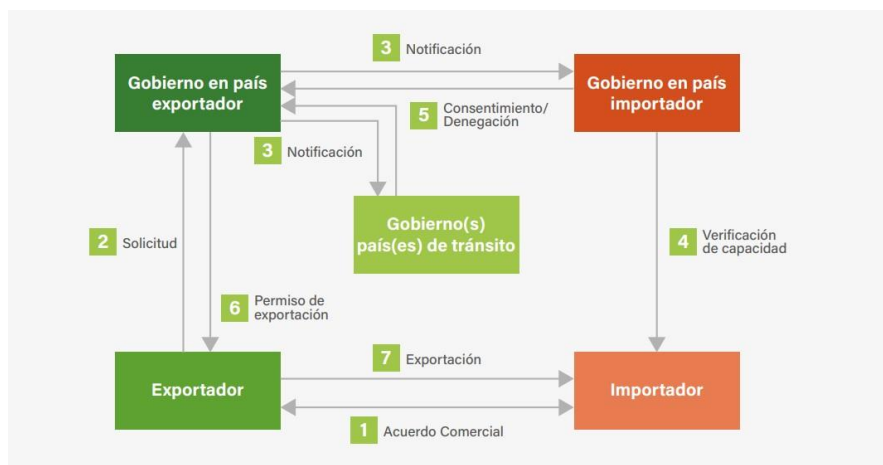


Figura 2.1. Etapas del movimiento transfronterizo de RAEE

Tomado de [3]

Si después de 60 días los países de tránsito no dan respuesta, la solicitud se asume como aprobada [L5]. La duración del procedimiento total es de 2 a 4 meses o inclusive, más de 6 meses [3].

Además, una vez realizada la exportación se debe aportar al Ministerio de Salud el expediente respectivo, el cual debe incluir copia del documento de seguimiento del movimiento firmado por el importador [L5].

2.2.2 Recuperadores de base

El sector informal, conocido como los recuperadores de base, desempeña un papel clave en la GIRE, ya que participa en la recolección, separación y desmantelamiento de RAEE. Lo cual puede ser beneficioso o no tanto en el ámbito social y ambiental como en la reducción de costos [10], [11]. En marzo de 2022, un mapeo realizado por la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA), identificó 105 recuperadores trabajando con RAEE. A pesar de los esfuerzos por organizar a estos trabajadores en estructuras organizativas, tales como RED CONCERVA, CONAREV y el

Movimiento de Recuperadores Inclusivos, la mayoría trabaja de manera independiente, lo que limita su capacidad de negociación y productividad [L1], [11], [12].

Aunque se ha avanzado en la formalización de este sector mediante estrategias nacionales, como la Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos 2016-2021 (ENSRV), los recuperadores siguen enfrentando desafíos significativos, como la falta de apoyo institucional, la ausencia de seguros y el riesgo laboral. En 2021 se estableció una Mesa de Trabajo para fortalecer este sector, definiendo responsabilidades de instituciones como la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y ACEPESA. Estos esfuerzos se reflejarán en el Plan de Acción de la ENSRV, que aún está en proceso de actualización [L1], [L6]. Además, el sector informal en conjunto con gestores de RAEE que le reciben, maneja el 41% al 75% de los RAEE en el país, pero no hay datos oficiales sobre sus métodos de tratamiento ni el destino final de los residuos, lo que plantea riesgos tanto para la salud como para el ambiente [L1], [10].

2.3 PANTALLAS Y MONITORES CON TUBOS DE RAYOS CATÓDICOS (CRT)

2.3.1 Definición y Composición

Los CRT fueron una tecnología utilizada en los televisores y monitores para la visualización de imágenes, posteriormente, se sustituyeron por pantallas planas LCDs y pantallas de plasma (PDPs, por sus siglas en inglés) [1]. Aunque en la actualidad casi no se producen, muchos de estos dispositivos aún se encuentran en uso o no han sido desechados.

En términos generales, las pantallas con CRT están compuestas por plásticos Acrilonitrilo butadieno Estireno (ABS), Poliestireno de Alto Impacto (PS), Polioximetileno (POM), hoja de metal, tablas de circuito, acero CRT interno y la unidad de CRT. Los plásticos que se encuentra en las pantallas con CRT contienen una serie de aditivos entre ellos los retardantes de llama bromados (BFR por sus siglas en inglés), que sirven para disminuir el riesgo de incendio, el cual es alto en los CRT, aumentando la resistencia al fuego [6], [13].

Estos aditivos BFR son una preocupación actual debido al riesgo que presentan para el ambiente y la salud humana ya que son Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) como

éteres bifenílicos polibromados, los cuales representan un peligro pues son tóxicos, resistentes a procesos normales de descomposición, biocumulativos en animales y seres humanos, y pueden recorrer grandes distancias por el viento y el agua [6]. Las concentraciones de BFR en las carcasas plásticas de las pantallas con CRT superan los límites mínimos recomendados, lo que convierte esta fracción de plástico en residuo peligroso.

Algunos BFR como el octaBDE y el decaBDE, se utilizan en carcasas externas que a su vez representa la segunda parte con mayor porcentaje en peso en una pantalla con CRT mientras que la primera es ocupada por la unidad CRT [6], [14].

La unidad CRT puede llegar a representar el 85% de la masa total y se compone de tres partes: pantalla, embudo y cuello, todos hechos por un tipo de vidrio diferente. El vidrio de pantalla representa un 65%, vidrio de embudo 30% y vidrio de cuello 5%, unidos entre sí por un vidrio fritado cargado de Pb [15]. En la Figura 2.2 se presenta un diagrama esquemático de un CRT.

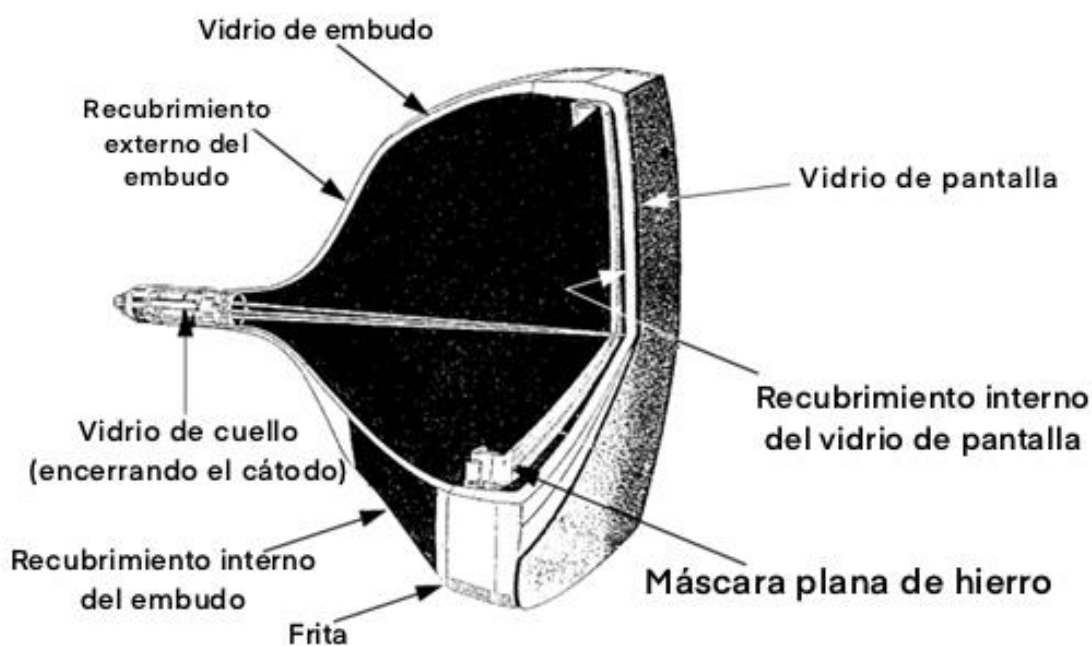


Figura 2.2. Estructura de un-CRT

Tomado de [2]

2.3.2 Caracterización del vidrio CRT

En una pantalla con CRT la mayor cantidad de Pb proviene del vidrio. De acuerdo con las pruebas estándar de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) se encontró que estos aparatos contienen cuatro veces el nivel mínimo para ser considerados como un residuo peligroso [2], [14].

Cada parte de la unidad CRT posee composiciones diferentes y la principal diferencia radica en las concentraciones de Pb, las cuales se encuentran en forma de óxido de plomo (PbO). El vidrio de cuello es el que contiene las mayores concentraciones de Pb seguido del vidrio de embudo, mientras que el vidrio de pantalla se encuentra relativamente libre de este compuesto [13].

Además, contienen otras sustancias peligrosas como el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg). En la Tabla 2.1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar el resto de los compuestos con su respectivo porcentaje para cada uno de los distintos vidrios CRT.

Tabla 2.1. Composiciones químicas para vidrio CRT (Tomado de [15]).

%	Vidrio de pantalla			Vidrio de embudo			Vidrio para envases
Óxido	Min	Max	Variación	Min	Max	Variación	
SiO ₂	58.9	65.4	6.6	51.2	63.5	12.3	72.0
Al ₂ O ₃	1.2	3.7	2.5	1.1	5.0	3.9	2.0
Na ₂ O	6.2	9.8	3.7	5.3	8.1	2.8	13.0
K ₂ O	6.0	9.0	3.0	7.2	10.3	3.2	1.0
Li ₂ O	0.0	0.5	0.5	-	-	-	-
F	0.0	0.8	0.8	-	-	-	-
BaO	1.9	14.2	12.3	0.0	3.0	3.0	-
SrO	0.0	11.6	11.6	0.2	0.7	0.5	-
CaO	0.0	4.6	4.6	1.6	4.5	2.9	10.0
MgO	0.0	2.0	2.0	0.9	3.0	2.1	-
As ₂ O ₃	0.0	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2	-
Sb ₂ O ₃	0.2	0.7	0.5	0.0	0.4	0.3	-
TiO ₂	0.0	0.6	0.6	-	-	-	--
CeO ₂	0.0	0.6	0.6	-	-	-	-
PbO	0.0	3.3	3.3	11.6	24.6	13.0	-
ZrO ₂	0.0	3.5	3.5	0.2	0.2	0.0	-
ZnO	0.0	0.7	0.7	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0.0	0.1	0.0	-	-	-	-

Del mismo, estos compuestos difieren entre los CRT monocromáticos y a color. A modo de ejemplo, la concentración de Pb en el vidrio de embudo de un CRT a color es aproximadamente de 22,6% mientras que en un CRT monocromático es de 2,83%, estas cantidades varían según el fabricante [16].

2.3.3 Problematical del Pb en CRT

El Pb forma parte de los metales pesados y es un aditivo en los RAEE utilizado como estabilizador en general. Además, es uno de los materiales que hace que el reciclaje, el tratamiento y disposición final para los vidrios CRT sea bastante complejo y costoso en comparación con la valorización de otros materiales de los RAEE [6], [13].

Por otro lado, representa un riesgo para las plantas y los animales, pues cuando el Pb está presente en forma de sal, esta puede ser absorbida por los tejidos vegetales y animales. Del mismo modo, los metales pesados tienen un efecto bioacumulativo en las células y en la mayoría de los órganos del cuerpo, por lo que su toxicidad aumenta a largo plazo [13].

La disposición de residuos CRT en rellenos sanitarios de residuos sólidos ordinarios o sitios no autorizados trae repercusiones ambientales, debido a la lixiviación ácida de altas concentraciones de Pb en las aguas subterráneas [13]. Por otra parte, los sitios en donde se llevan a cabo el desmantelamiento y reciclaje de RAEE con prácticas inadecuadas, presentan altos niveles de Pb en muestras de polvo, suelo, sedimentos de ríos y fuentes de agua en comparación con áreas de control, lo cual provoca a su vez un riesgo para la salud de las personas que trabajan y viven en dichos lugares [1].

2.4 GESTIÓN ACTUAL DE LAS PANTALLAS Y MONITORES CON CRT EN COSTA RICA

A pesar de que los RAEE están categorizados como residuos de manejo especial, de acuerdo con el Convenio de Basilea, los RAEE o sus fracciones y componentes que contienen vidrios CRT o que estén constituidos o contaminados con Pb se clasifican como residuos peligrosos [L4].

2.4.1 Etapa 1: Recepción y almacenamiento temporal

En el 2021, la generación de RAEE era de aproximadamente 13,50 kg/hab y la recolección oficial era de 1,10 kg/hab lo que equivale a una tasa de recolección de 8,2%. En cuanto a pantallas y monitores, se generaron 8 033 toneladas, de las cuales solo el 7,6% fue recolectado. Dentro de esta cifra, 859 toneladas correspondían a pantallas y monitores con CRT, lo que equivale aproximadamente a 28 634 unidades [7], [L1]. Considerando que cada unidad contiene, como mínimo, alrededor de 1 kg de Pb, esto representa 28 634 kg de Pb. Es importante señalar que estas cifras no reflejan la cantidad de pantallas y monitores con CRT recolectadas [2], [L1].

Según el análisis de la información sobre la infraestructura para la gestión de RAEE, en 2022 existía más de 350 puntos de recolección y recepción de estos residuos. De estos puntos, 206 recibían pantallas y monitores, 187 están asociados a Unidades de Cumplimiento, 13 eran gestores autorizados, y 6 estaban gestionados por comercializadores, distribuidores o municipalidades [L1], [17].

No obstante, según el registro de Unidades de Cumplimiento del Ministerio de Salud, con corte a febrero de 2023, las Unidades registradas no indicaban de forma explícita la gestión de pantallas con CRT entre los residuos que recolectaban, o bien, indicaban recolectar televisores y/o monitores sin especificar si incluían pantallas con CRT [18]. Cabe destacar que dicha especificación no es un requisito para efectos de registro.

2.4.2 Etapa 2: Acopio o almacenamiento

A febrero de 2023, Costa Rica tenía 65 gestores de RAEE autorizados, de los cuales 18 contaban con autorización para la recolección, transporte y acopio [18].

No se tiene certeza de la cantidad de gestores autorizados que reciben pantallas con CRT ni sobre el volumen de estos residuos que permanecen almacenados mientras se gestiona su valorización. Adicionalmente, es importante destacar que los volúmenes gestionados por los gestores autorizados no son representativos, ya que, según un estudio realizado en 2017 [19], la mayor parte de los RAEE aún se almacena en depósitos de instituciones o en los hogares de los consumidores individuales.

2.4.3 Etapa 3: Desensamblaje y Preparación para la valorización

De los 65 gestores de RAEE autorizados que tenía Costa Rica a febrero de 2023, 47 estaban autorizados para el desmantelamiento, separación, recuperación, exportación y tratamiento. No obstante, la mayoría de los gestores se centran en el acondicionamiento de los RAEE para posteriormente exportarlos o bien, en el desmantelamiento de los equipos para obtener fracciones valiosas como metales ferrosos y no ferrosos [7], [17].

Si bien no se conoce la cantidad de pantallas y monitores con CRT gestionadas en el país, algunos de los gestores autorizados que han trabajado en el desensamblaje y valorización de estos residuos, califican como compleja la gestión de estos residuos debido al tamaño y a la cantidad de Pb que poseen; por lo que se ven obligados a pagar un costo adicional para la exportación de las pantallas con CRT debido a la falta de alternativas locales [3], [10].

El tiempo promedio en el desmantelamiento de pantallas y monitores con CRT es superior en comparación al tiempo que se toma en otros dispositivos informáticos. Además, tanto en el sector de gestión formal como en el informal identifican una falta de conocimiento sobre cómo recuperar, reutilizar o reciclar pantallas y monitores con CRT [19].

2.4.4 Etapa 4: Exportación

En el 2021, a partir de los reportes presentados por los gestores autorizados, se determinó que, del total de residuos peligrosos, el 29,8% fue valorizado en el país, el 24,3% fue tratado y el 46% se exportó. En cuanto a los residuos especiales, el 90% se exportó y solo un 9,8% se valorizó en país. Además, según los informes anuales presentados para el cumplimiento del Convenio de Basilea, en el 2021 Costa Rica exportó 172 toneladas de computadoras y componentes electrónicos y eléctricos usados a Estados Unidos (EE. UU). Sin embargo, las exportaciones reportadas no brindan información sobre la cantidad de pantallas o vidrios CRT exportados [L1], [20].

Por otra parte, algunos gestores autorizados de RAEE indican no haber exportado nunca vidrios, televisores o monitores con CRT debido a la dificultad para la obtención del trámite [3]. Otras problemáticas que se presentan en esta etapa son: no contar con suficiente material para exportar y la duración del proceso.

2.5 ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE LOS CRT

2.5.1 Valorización

2.5.1.1 *Recuperación del Plomo*

La recuperación de Pb de residuos de vidrios CRT, especialmente de los vidrios de embudo, ha sido una propuesta de alternativa de gestión por parte de países como China y Francia.

Este proceso se puede realizar a partir de dos métodos:

Método Pirometalúrgico

Este proceso consta de tres pasos, en primer lugar, el vidrio CRT es pulverizado y secado. El segundo paso consiste en mezclar el vidrio pulverizado con un agente reductor el cual puede ser: carbón, carburo de silicio y nitrato de titanio o hierro. Como tercer paso, se comprime la mezcla del vidrio y del agente reductor en pequeñas esferas para posteriormente ser tratadas térmicamente con altas temperaturas [21], [22], [23].

Con este método se logra recuperar de 12% hasta 97,5% de Pb. Los mayores porcentajes de Pb se obtienen utilizando carbón como agente reductor y temperaturas de 1000 °C en cámaras de vacío [21].

Método hidrometalúrgico

Este método al igual que el anterior consta de tres pasos. Inicialmente el vidrio CRT es pulverizado y secado, posteriormente se sumerge en una solución acuosa, la cual puede ser de ácido nítrico o hidróxido de sodio. Finalmente, el tercer paso consiste en la activación mecánica del vidrio pulverizado. La recuperación del Pb utilizando este método llega a ser del 92,5% hasta 97% [24], [25].

El Pb recuperado se puede destinar a la fabricación de baterías de ácido-plomo, que es su uso más común. Considerando las cantidades de Pb presentes en los vidrios CRT y las eficiencias de recuperación mencionadas anteriormente, se estima que serían necesarias se necesitarían aproximadamente 8 mil millones de pantallas CRT de 20 kg para producir 9 024 000

toneladas de Pb, cantidad equivalente a la demanda de este material en 2012 para la producción de baterías de ácido-plomo [2].

2.5.1.2 *Agente fundente*

En Suecia, Suiza y China han investigado la mezcla de vidrios CRT de embudos y pantallas como agente fundente para fundir Cobre (Cu) y Pb, debido a las cantidades de sílice que contienen. La sustitución de la sílice por vidrios CRT es posible siempre y cuando no haya modificaciones en los productos y subproductos, siendo la escoria el subproducto principal [1], [2], [26].

En la fundición de Cu, cuando se reemplaza el material fundente con un 35% de vidrios CRT aumenta la lixiviación de Pb de la escoria. Por lo tanto, solo se puede reemplazar la sílice en un 10% con vidrios CRT para asegurar que no haya modificaciones en las características mineralógicas ni en el comportamiento de los lixiviados de Pb de la escoria [26].

Esta alternativa presenta una limitante en el número de fundiciones para vidrio CRT. Además, aún no existen criterios técnicos y ambientales suficientes para determinar cómo tratar y disponer la escoria metalúrgica adecuadamente [1], [26].

Adicionalmente, no se recomienda utilizar vidrios como agentes fundentes para fundir metales ferrosos, debido a las cantidades de Silicio (Si), el cual es un contaminante del acero, que contienen los vidrios [1].

2.5.1.3 *Exportación del vidrio CRT*

La exportación es una alternativa que países latinoamericanos, incluido Costa Rica, han optado para gestionar los vidrios CRT [4], [5]. Se ha implementado a causa de la falta de alternativas de valorización y procesamientos locales de las pantallas CRT.

Por ejemplo, en Chile las pantallas CRT son almacenadas hasta alcanzar un volumen suficiente para exportarlas a recicladores en Bélgica, donde se utilizan como materia prima para la fabricación de materiales cerámicos o bloques de hormigón [6].

2.5.1.4 *Otras alternativas de gestión*

Existen otras alternativas para la valorización de estos residuos. Se cuenta con estudios donde se investiga el uso del vidrio CRT en la fabricación de vitrocerámicas, ladrillos de arcillas y

techo, esmalte cerámico para pisos, concreto y vidrio de espuma como aislante térmico en edificios y casas. Sin embargo, estas alternativas presentan problemáticas ambientales y socioeconómicas [1], [2].

En la mayoría de las alternativas mencionadas anteriormente, no hay un aprovechamiento de las propiedades del Pb o bien, realizan un encapsulamiento sin inertizar el Pb. El problema que esta acción presenta es que, si no se integra por completo en la matriz de vidrio, cuando la arcilla o el concreto se rompe o entra en contacto con productos químicos fuertes, el Pb se filtrará al ambiente [2].

Otras limitantes que presentan son la falta de directrices sobre las pruebas y evaluación en las principales aplicaciones, tradición del uso de materiales convencionales, viabilidad técnica y baja recuperabilidad del Pb. Además, algunas alternativas requieren grandes cantidades de pantallas CRT o sus aplicaciones no son prácticas de uso común como es el uso de vidrio de espuma como aislante térmico [2], [27].

2.5.2 Tratamiento y Disposición

2.5.2.1 Relleno sanitario con estabilización de los vidrios CRT

Un relleno sanitario es un sitio de eliminación permanente de los residuos en la tierra. Los residuos que por su composición pueden liberar sustancias peligrosas al ambiente, ya sea por medio de gases o sustancias que lixivian fácilmente solubles en aguas, deben recibir un tratamiento previo a la disposición en rellenos sanitarios [2].

Los vidrios CRT, en otros países pueden disponerse en rellenos sanitarios siempre y cuando estén estabilizados. Este tratamiento consiste en eliminar o disminuir la peligrosidad de los componentes y las sustancias que contienen [1], [2].

La estabilización de los residuos puede realizarse con reacciones de auto propagación, las cuales consisten en mezclar polvos de vidrios CRT con óxido férrico y magnesio, para posteriormente encender la mezcla con una fuente térmica. Otros estudios encapsulan los vidrios CRT usando un sistema de biopolímeros con concreto [1], [2].

3 METODOLOGÍA

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT

Para conocer la gestión de residuos de pantallas y monitores con CRT en Costa Rica, se hizo una revisión de literatura académica, así como la aplicación de entrevistas y encuestas a Unidades de Cumplimiento, Gestores de RAEE y recuperadores de base, definidos como principales actores involucrados en la GIRE.

3.1.1 Literatura académica

Se ejecutó una revisión de artículos científicos, reportes, tesis, entre otras fuentes primarias acerca de la gestión de los RAEE y, pantallas y monitores con CRT en Costa Rica.

3.1.2 Encuestas acerca de la gestión de los CRT

Se elaboró una encuesta semiestructurada con preguntas cerradas y abiertas a gestores de RAEE (APÉNDICE 1), Unidades de Cumplimiento (APÉNDICE 2) y recuperadores de base (APÉNDICE 3). Estos instrumentos tenían el objetivo de obtener información general sobre la gestión de los RAEE, principalmente de las pantallas y monitores con CRT.

En términos generales las tres encuestas están compuestas por una sección de información general (ubicación de la instalación/trabajo, principales tipos de RAEE que gestionan, procedencia de RAEE, edad, funciones de trabajo, entre otros), una sección específica acerca de los CRT (si recolectan o no CRT, cantidades recolectadas, motivos del por qué reciben o no CRT, cómo se gestionan y cuáles son los precios asociados a su gestión) y, finalmente una sección referente a los desafíos que presentan y/o al interés que tienen en buscar alternativas de gestión para las pantallas y monitores con CRT. Cabe destacar que hay preguntas específicas para cada actor, las cuales pueden observarse con detalle en los apéndices correspondientes.

Se utilizaron los contactos de gestores de RAEE y Unidades de Cumplimiento de la base de datos del Ministerio de Salud. Además, se solicitaron contactos de recuperadores de base a representantes de ACEPESA, debido a que esta organización ha realizado investigaciones previas sobre el sector. Por cuestiones de ubicación y facilidad para la aplicación de

encuestas, gran parte de las personas recuperadoras de base identificadas son de Heredia. Las tres encuestas se realizaron en la aplicación de *Google Forms* y se difundieron de manera virtual a través de medios como correo electrónico y WhatsApp. Se consideró que no todas las personas del sector informal pueden ser contactadas virtualmente, por lo que algunas encuestas fueron aplicadas de manera presencial.

En adición a lo anterior, el Ministerio de Salud de Costa Rica colaboró con difundir tanto la encuesta de Unidades de Cumplimiento como la de gestores de RAEE, a través del Oficio MS-DRPSA-0687-2023 (Apéndice 4) vía correo electrónico, dicho oficio funcionó como recordatorio y respaldo de las encuestas enviadas anteriormente. El período de recolección de respuestas estuvo comprendido entre el 20 de julio al 19 de septiembre del 2023.

3.1.3 Entrevistas a gestores de RAEE y Unidades de Cumplimiento

A partir de las respuestas obtenidas en las encuestas, se identificaron las Unidades de Cumplimiento y gestores de RAEE que reciben o han recibido en algún momento pantallas o monitores con CRT, para llevar a cabo entrevistas más detalladas. Estas se realizaron en el lugar de trabajo o virtuales, según la disponibilidad.

El objetivo de estas entrevistas fue ampliar en las respuestas recolectadas, identificar el procedimiento de gestión de las pantallas con CRT y el proceso de desensamble que realizan los gestores a través de un recorrido en planta.

Se realizaron dos entrevistas a Unidades de Cumplimiento, una virtual y otra presencial, y tres entrevistas presenciales a gestores de RAEE.

3.2 INDAGACIÓN DE OPCIONES GLOBALES Y LOCALES PARA LA GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT

Se llevó a cabo la revisión documental de alternativas de valorización, tratamiento y disposición final de las pantallas y monitores con CRT tanto en Costa Rica como en otros países. Este proceso incluyó la recopilación y análisis de estudios previos, artículos científicos, tesis, reportes y normativas internacionales, entre otras fuentes.

3.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO

Mediante la revisión de literatura y lo conversado durante las entrevistas se identificaron posibles alternativas para la gestión de las pantallas con CRT en Costa Rica, centrándose en el vidrio de estos residuos.

Las alternativas se evaluaron con respecto a tres criterios: ambiental, social y de gobernanza, basado en un Análisis de Decisión Multicriterio.

3.3.1 Criterios de evaluación y sistema de puntuación

La evaluación de las alternativas de gestión se basa en la metodología propuesta por E. Restrepo, R. Widmer, M. Schluep, y H. Guilcher [2], donde se aplicó un análisis multicriterio que abarcaba tres criterios: técnico, ambiental y económico. Estos criterios se desglosan en tres subcriterios técnicos, dos ambientales y uno económico. Sin embargo, se modifican criterios y métodos de evaluación con el fin de adaptar la metodología a la realidad del país y alinearlas con nuevas tendencias en cuanto a proyectos de sostenibilidad. En cuanto a las modificaciones, se eliminó el criterio técnico y sus subcriterios, con la excepción del subcriterio de *aprovechamiento de las propiedades de Pb*, el cual se incluye dentro del criterio ambiental. Asimismo, se conservaron los dos subcriterios ambientales originales, mientras que el criterio económico fue sustituido por el de gobernanza.

En este nuevo criterio se evalúa la calidad de la gestión, el cumplimiento de normas y reglamentos, la transparencia y la gestión de riesgos. Asimismo, sigue considerando de los accionistas, pero bajo un enfoque de responsabilidad y ética en la toma de decisiones. Estas modificaciones reflejan un enfoque más integral y alineado con las tendencias de sostenibilidad, resaltando la solidez organizativa.

Además, se decidió trabajar con pesos porcentuales en la evaluación, y estos se asignaron considerando que la alternativa más adecuada para el país será aquella que no solo priorice el factor ambiental, sino que también garantice una estructura organizativa sólida. Por esta razón, se asignó el mismo peso porcentual tanto al criterio ambiental como al de gobernanza. En cuanto al criterio social, aunque se reconoce la importancia de la diversidad sectorial para garantizar una alternativa adecuada y mejorar la eficiencia del sistema, se consideró que la gestión de residuos CRT no persigue fines lucrativos. Por lo tanto, la inclusión de diversos

sectores en las alternativas de gestión debe valorarse como un elemento complementario que aporta valor, pero no como un factor decisivo en el proceso de evaluación.

De esta manera, se evaluaron las alternativas de gestión respecto a tres principales criterios: ambiental, social y gobernanza, y seis subcriterios (Tabla 3.1). Cada uno de los subcriterios se evalúan dependiendo del método de evaluación asignado.

Se definen tres métodos de evaluación: A, B y C (Figura 3.1). El método A se basa en si cumple o no la condición de los subcriterios, se asigna una puntuación de 3 si cumple y una puntuación de 1 en caso de no cumplirla. El método B consiste en una escala de puntuación dependiendo del nivel de cumplimiento (alto, moderado o bajo). El método C, al igual que el B, consiste en una escala de puntuación del 1 al 3, pero la puntuación depende de las barreras limitantes que presentan las alternativas (técnicas, financieras o legales).

Las puntuaciones en cada subcriterio se multiplican por el peso porcentual del criterio al que pertenecen, la suma de dichos productos dará como resultado la puntuación final.

En caso de que no haya información disponible en un subcriterio, se otorga un valor igual a 1. Los métodos de puntuación se resumen en la Figura 3.1 y se explican con detalle en los subcriterios designados.

Tabla 3.1. Metodología para evaluar la viabilidad de las alternativas de gestión para los vidrios CRT

Criterio	Ambiental			Social	Gobernanza	
Subcriterio	Aprovechamiento de las propiedades del Pb	Recuperabilidad de la alternativa	Lixiviación del Pb al suelo y el agua	Representatividad sectorial local	Accesibilidad de aplicación	Antecedentes de implementación
Peso Porcentual	40%			20%	40%	
Método de evaluación	A	B	A	B	C	A

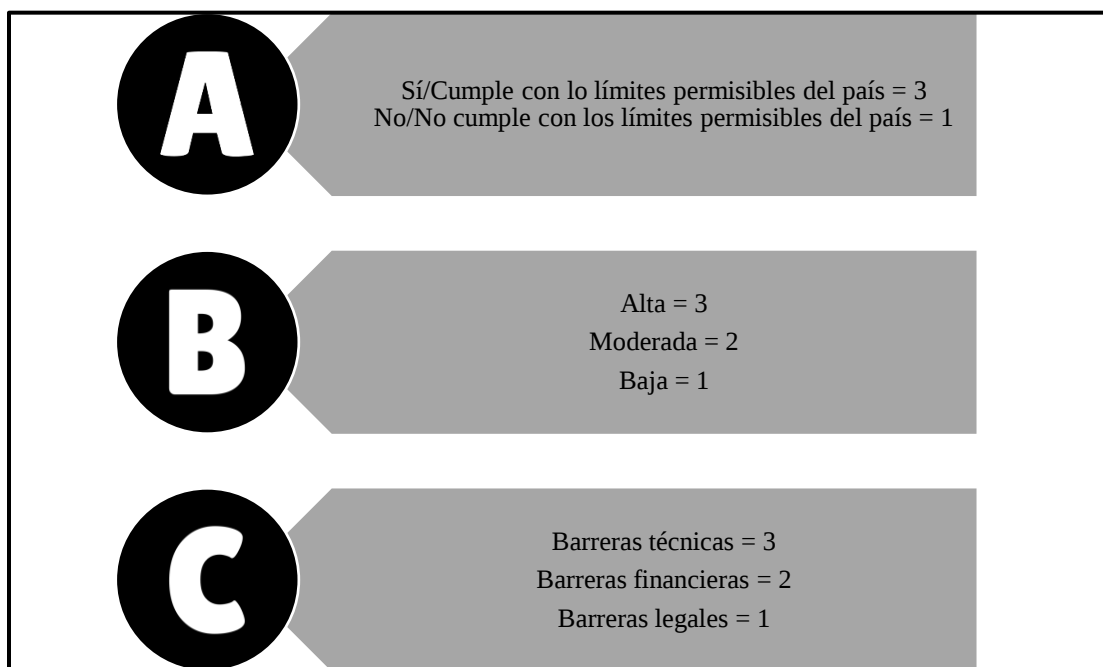


Figura 3.1. Puntuación de los métodos de evaluación

3.3.1.1 Criterios Ambientales

Considera tres subcriterios, los cuales fueron tomados del reporte elaborado por E. Restrepo, R. Widmer, M. Schluep, y H. Guilcher [2]:

- a) Aprovechamiento de las propiedades del Pb: con este subcriterio se hace referencia a que una gestión adecuada debe alinearse con los primeros eslabones de la pirámide de jerarquización de residuos. Esto implica utilizar las propiedades del Pb, en lugar de recurrir a alternativa que no las aprovechen. Este enfoque también fomenta prácticas de economía circular y promueve la generación de ingresos por alguna valorización eventual.
- b) Recuperabilidad de la alternativa: se basa tanto en la peligrosidad del Pb como en su escasez en la naturaleza. De esta forma una alternativa de gestión con recuperabilidad alta es aquella que se encuentra concentrada geográficamente o en productos que pueden ser fácilmente recolectados al final de su vida útil. En contraste, una baja recuperabilidad representa un desafío para la recolección y valorización del Pb en las nuevas aplicaciones. Este subcriterio se relaciona con la trazabilidad del metal en la alternativa de gestión.
- c) Lixiviación de Pb al suelo y agua: debido a la composición física y química del vidrio CRT, este se puede utilizar para inertizar o encapsular contaminantes. Cuando el contaminante se integra tanto física como químicamente a la matriz de vidrio, se habla de una inertización, mientras que, si solo se encuentra retenido físicamente y no produce un cambio morfológico o químico en la matriz de vidrio, el contaminante es encapsulado y la liberación al ambiente dependerá de la estabilidad y resistencia de la matriz de vidrio, así como de su entorno. La inertización también dependerá de la naturaleza del contaminante como del tamaño de partícula. Para este subcriterio, se investigó en distintos estudios los riesgos potenciales de lixiviación de Pb en los productos finales de cada alternativa, bajo condiciones normales de operación, ya sea a escala real o en laboratorio.

Por ejemplo, en la producción de concreto se evalúa la lixiviación de Pb en los ladrillos utilizados en el sector de construcción. En caso de que los estudios presenten

un rango de valores de lixiviación, se toman los valores más altos para su comparación con los límites permisibles establecidos en el país.

La puntuación en los subcriterios a) y c) se determina mediante el método A. Se asigna un valor de 3 si existe un aprovechamiento del Pb o si el riesgo de lixiviación durante la aplicación de cada alternativa no supera los límites permisibles en el país (Tabla 3.2). En caso contrario, se asigna un valor de 1.

Tabla 3.2. Valores admisibles de Pb en suelo y agua utilizados para comparar la lixiviación de Pb en las alternativas

Matriz ambiental	Valor admisible de Pb	Referencias
Cuerpos de agua superficiales (Clase 1)	< 0,03 mg/L	[L7]
Agua potable	0,01 mg/L	[L8]
Suelo residencial*	50 mg/kg	[2], [L9], [L10], [28]

*A falta de valores de referencia propios de Costa Rica para la evaluación de contaminación de suelos, se utiliza lineamientos europeos como guía.

El subcriterio b) se obtiene con el método B, se asigna un valor de 1 si la alternativa es irrecuperable, 2 si tiene una recuperabilidad media y 3 si es recuperable.

3.3.1.2 Criterio Social

Se incluye un único subcriterio:

- a) Representatividad sectorial local: bajo la premisa de que el desarrollo de un territorio está relacionado con el aprovechamiento de los recursos humanos y naturales propios de una zona, se hace necesario buscar el protagonismo de la mayor cantidad de entidades locales, públicas y privadas, que trabajen en conjunto para la implementación de procesos de cambio que beneficien el bienestar colectivo del país, el cual se encuentra más allá de los intereses particulares o corporativos. A su vez, se añade valor a las empresas y se promueve la innovación [29], [30].

La puntuación en este subcriterio es dada por el método B, si a través de lo investigado se demuestra la participación de al menos tres entidades, sean públicas y/o privadas, se asigna un valor de 3, en caso de que haya una participación de dos entidades la alternativa tendrá

una representatividad sectorial media y se le asignará un valor de 2, si la alternativa a evaluar se concentra en una única entidad la puntuación dada será igual a 1.

3.3.1.3 Criterios de Gobernanza

Se incluyen dos subcriterios:

- a) Accesibilidad de aplicación: con este subcriterio se pretende evaluar las alternativas con respecto a las limitaciones/barreras que presenten: legales, técnicas y financieras, las cuales llegarían a dificultar su implementación. La evaluación se realiza pensando en la principal limitación que caracteriza a la alternativa a evaluar y no a la cantidad de barreras que posee, siendo la barrera legal la limitación más complicada de solucionar.

Las barreras legales hacen referencia a todas las leyes, normas y reglamentos que existen o no en el país e impiden la implementación de la alternativa; las financieras corresponden a la falta de recursos económicos que imposibilita la puesta en marcha, mientras que, las barreras técnicas están relacionadas con la carencia de conocimiento especializado en el país o con la falta de experiencia en tecnologías o herramientas.

- b) Antecedentes de implementación: toda aquella estrategia administrativa, financiera o técnica que haya existido en el país y que posibilite la puesta en marcha de las alternativas a evaluar y beneficien directamente en la implementación de estas, en contraposición a que no existan indicios referentes a las alternativas.

El subcriterio a) es evaluado por el método C, y su puntuación dependerá de la principal barrera que caracterice a la alternativa a evaluar: técnica, financiera o legal. Por ejemplo, si en una sola alternativa existen barreras técnicas y legales, se tomará la barrera legal como la principal limitación y se le asignará un valor de 1, pues esta se basa en reglamentaciones del país y por tanto modificarla requiere un plazo largo de tiempo. Si más bien la alternativa se puede poner en marcha pues la reglamentación lo permite, pero presenta barreras técnicas y financieras, la limitación financiera tendrá más peso sobre la técnica y la puntuación a asignar será de 2. Si lo técnico es lo único que imposibilita la implementación de la alternativa la puntuación será de 3.

La puntuación del subcriterio b) se obtiene por el método A, se asigna un valor de 3 si existen antecedentes de implementación y en el caso contrario su puntuación será de 1.

3.3.2 Entrevistas a empresas

Para obtener un criterio más sólido en la evaluación de las alternativas de gestión, se contactaron virtualmente, salvo a una excepción, a tres empresas que se pueden alinear a posibles soluciones. Estas empresas fueron seleccionadas por sus distintos enfoques: extracción de Pb, confinamiento de plástico en productos de construcción y disposición final de residuos en rellenos sanitarios.

Durante las entrevistas abiertas, se discutieron sus líneas de producción actuales y se abordó de manera preliminar la viabilidad de gestionar vidrios CRT en función de sus actividades comerciales.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT EN COSTA RICA

En este apartado se analizan los resultados tanto de las encuestas como de las entrevistas aplicadas a los diferentes actores mencionados anteriormente. Los resultados se estudian por tipo de actor que a su vez se subdivide en tres secciones: información general, gestión de las pantallas con CRT y desafíos, riesgos e interés en alternativas de gestión.

4.1.1 Unidades de Cumplimiento

4.1.1.1 Información general

De las 213 Unidades de Cumplimiento que se encuentran en la base de datos del Ministerio de Salud (activas e inactivas) utilizada para la aplicación de encuestas, nueve indican recibir televisores y monitores. Sin embargo, en total se obtuvo respuesta de 13 Unidades.

De acuerdo con la Figura 4.1 más de la mitad de estas Unidades de Cumplimiento saben que representan legalmente una Unidad de Cumplimiento y comprenden qué implican ser una. Es de conocimiento de la mayoría, que la Ley les rige, sin embargo, algunas desconocen todas las obligaciones establecidas por el principio de la REP.

La mayoría de estas estructuras legales representan su propia empresa mientras que otras tienen mayores cantidades de afiliados, siendo la más grande la representante de 106 empresas. Aquella que indica tener una cantidad de cero afiliados puede hacer referencia a que no representa más que a su propia empresa.

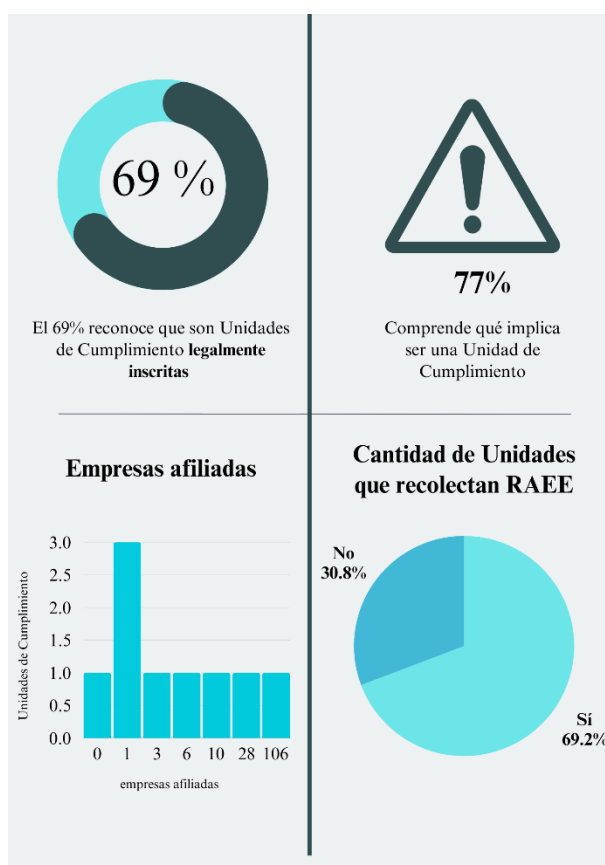


Figura 4.1. Información general de las Unidades de Cumplimiento encuestadas

Por otro lado, el 69% reconoce ser una Unidad de Cumplimiento y recolectar RAEE, donde los *pequeños aparatos informáticos y de telecomunicaciones* y los *grandes aparatos* son las

categorías mayormente recolectadas, seguidas por *pantallas y monitores* y los *aparatos de intercambio de temperatura* (Figura 4.2). Estos residuos son recolectados principalmente mediante la entrega directa en los puntos ubicados en sus instalaciones y, por gestores de RAEE quienes les entregan sus residuos para que se encarguen de su gestión (Figura 4.3).

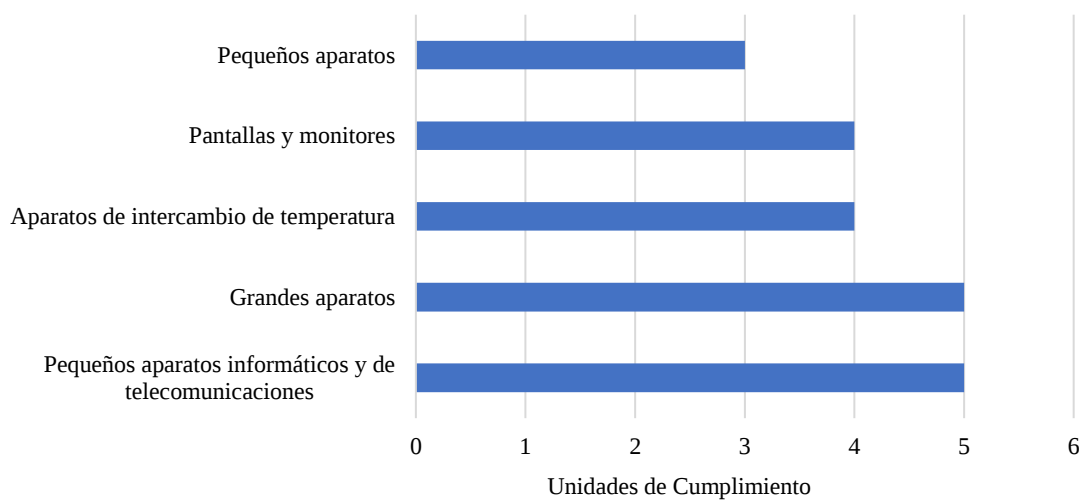


Figura 4.2. Categorías de RAEE recolectadas por Unidades de Cumplimiento

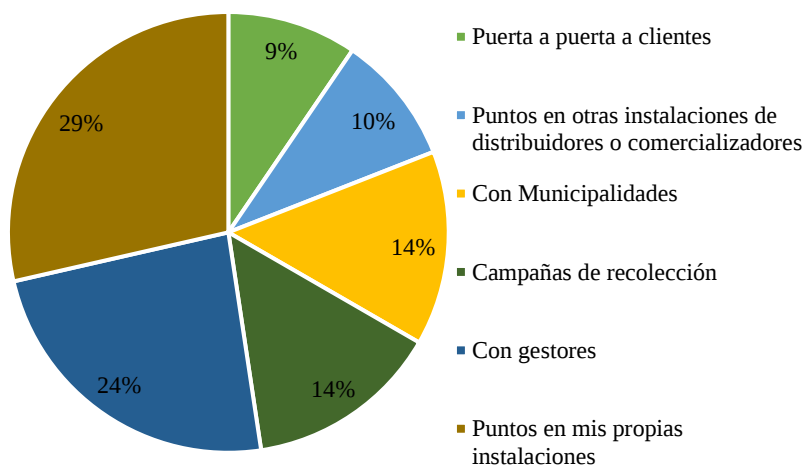


Figura 4.3. Procedencia de RAEE

4.1.1.2 Gestión de las pantallas y monitores con CRT

Como se mencionó anteriormente el 69% de las Unidades de Cumplimiento entrevistadas se encargan de recolectar RAEE, es decir, 9 Unidades. De este porcentaje solo el 45% actualmente recolecta pantallas con CRT, el 22% en algún momento recolectó y el 33% nunca ha recolectado ni gestionado CRT (Figura 4.4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

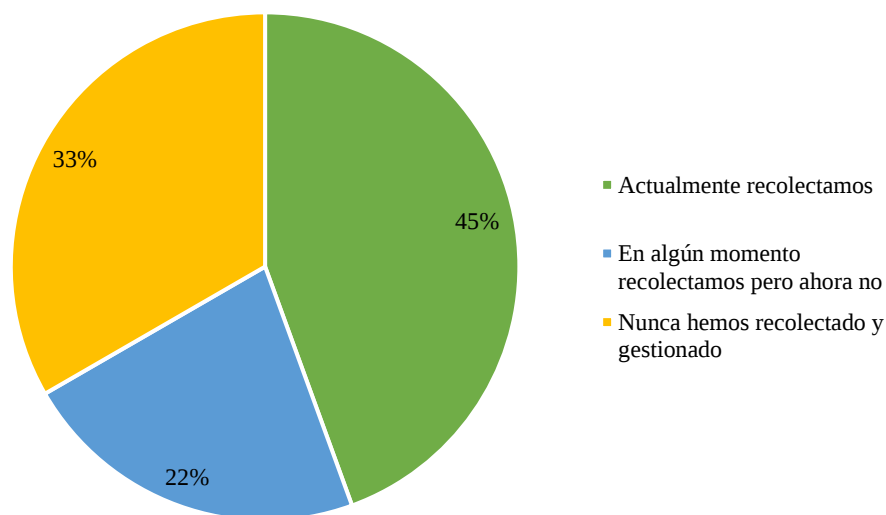


Figura 4.4. Cantidad de Unidades de Cumplimiento que recolectan o han recolectado CRT

De las 9 Unidades, solo 11% indica haber comercializado, ya sea la Unidad de Cumplimiento o sus afiliados, pantallas con CRT (Figura 4.5). Según indicaron en la encuesta, a nivel país se dejaron de comercializar estos residuos en el año 2010.

Lo anterior implica que, a pesar de que solo el 11% tiene la responsabilidad directa de la recolección de los residuos con CRT, de acuerdo con lo establecido en el principio de la REP

[36], actualmente hay más Unidades de Cumplimiento que realizan la recolección de estos residuos.

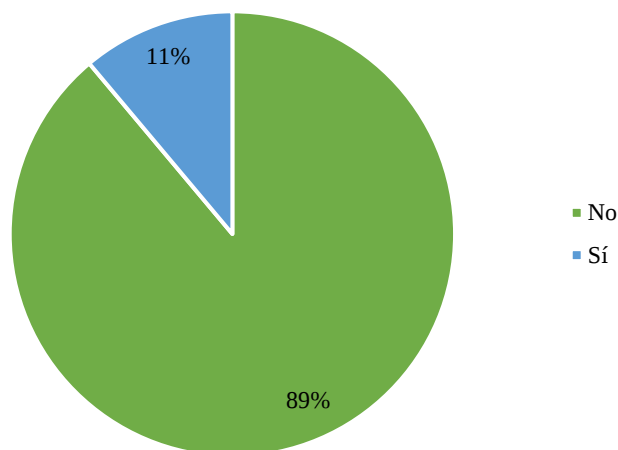


Figura 4.5. Cantidad de Unidades de Cumplimiento que han comercializado CRT en algún momento

Según lo obtenido en las encuestas y entrevistas, de las 4 Unidades de Cumplimiento que indicaron recolectar pantallas con CRT, en un año se han llegado a recolectar de 2 a 36 unidades con CRT, las cuales tienen un peso promedio de 27,6 kg, según datos manejados por el Ministerio de Salud [7]. Estos residuos suelen ser recuperados principalmente en campañas de recolección que realizan por sí mismos, sus afiliados o en colaboración con Municipalidades o gestores de RAEE con las que las Unidades de Cumplimiento deciden trabajar.

El costo que indican las Unidades de Cumplimiento por recibir y gestionar los residuos con CRT va de los 300 dólares/t a los 550 dólares/t, siendo el rango de 500 a 550 dólares/t el menos mencionado (Figura 4.6).

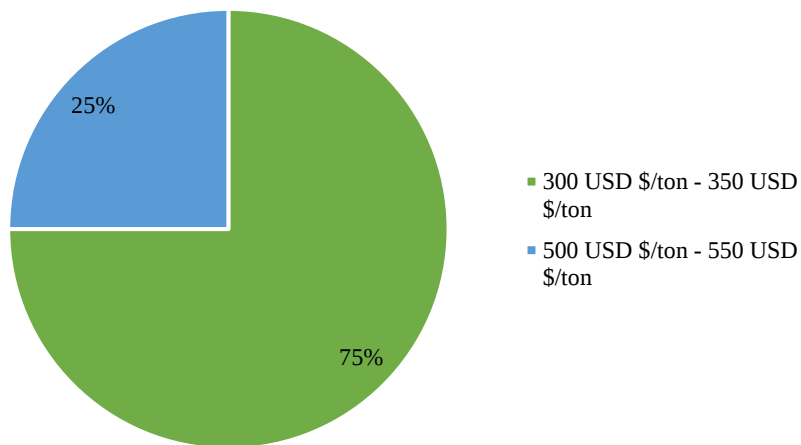


Figura 4.6. Costo aproximado para la recolección y gestión integral de los residuos con CRT

Las 4 Unidades de Cumplimiento mencionadas anteriormente, aseguran que una vez recolectados son desensamblados para retirar piezas como plástico, yugo de Cu, cables, entre otros componentes. Propiamente las unidades CRT se acumulan hasta llegar a un volumen suficiente, lo cual llega a ser hasta más de 4 000 t, para ser exportados a destinos autorizados en Canadá y Estados Unidos. Las Unidades de Cumplimiento indican exportar, pero no mencionan el nombre de las empresas a las que se destinan estos residuos.

Por otro lado, la razón principal de que el 55% de las unidades restante, observado en la Figura 4.4, no recolecte residuos con CRT o haya dejado de hacerlo, se debe a que no son parte de los productos comercializados por las Unidades de Cumplimiento encuestadas o por sus afiliados. El segundo motivo se debe a que ya no son residuos que las personas y empresas suelen llevar (Figura 4.7).

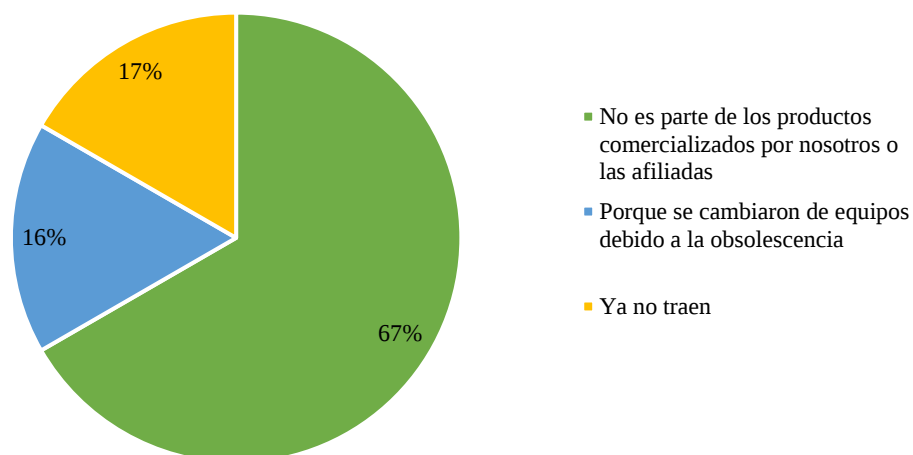


Figura 4.7. Razones por las que no recolectan o dejaron de recolectar pantallas con CRT

4.1.1.3 Desafíos, riesgos e interés en alternativas de gestión

De acuerdo con la Figura 4.8 el 50% de la Unidades de Cumplimiento que recolectan pantallas con CRT indican no tener metas de recolección en la categoría de residuos de pantallas y monitores.

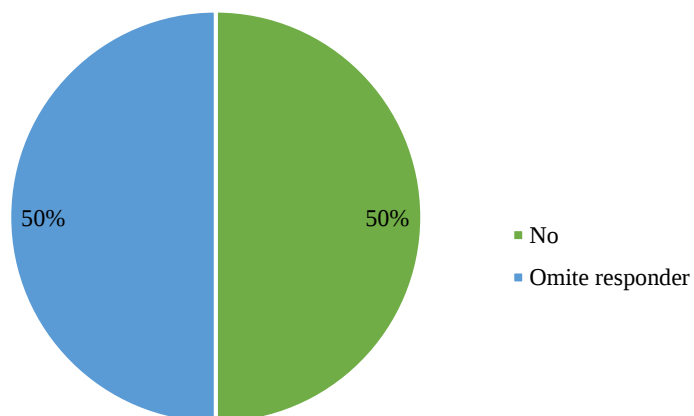


Figura 4.8. Cantidad de Unidades de Cumplimiento que cuentan con metas de recolección de residuos de pantallas y monitores

A pesar de esto, el 75% están interesadas en buscar opciones adicionales de gestión para los residuos con CRT en Costa Rica (Figura 4.9). Algunos de los motivos que incentivan el interés son: la búsqueda de alternativas de tratamiento adecuadas para cada RAEE, la obligatoriedad de dar prioridad a la gestión local en caso de que existiese y la disminución de costos de gestión que a su vez incentiven un mayor volumen de residuos gestionados.

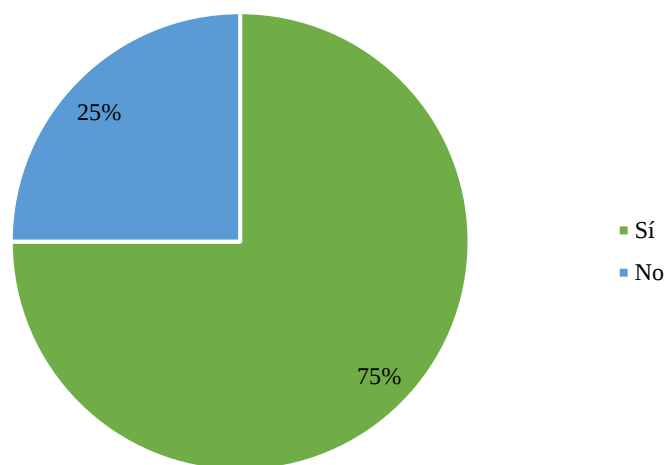


Figura 4.9. Cantidad de Unidades de Cumplimiento interesadas en alternativas adicionales

Además, en una de las entrevistas se comenta que, a pesar de no contar con metas de recolección específicas para residuos de pantallas y monitores, cuentan con metas generales que pueden beneficiar el aumento en la recuperación de estos residuos.

Según lo indicado uno de los mayores retos es trabajar en la formalización del sector informal, pues son conscientes de la importancia de este eslabón en la GIRE y de la cantidad de RAEE que recolectan. La colaboración del sector informal permite llegar a volúmenes suficientes para la exportación o en general para alcanzar mayores índices de recolección de RAEE, especialmente si se considera la posibilidad de aprobar metas de recolección obligatorias para las Unidades de Cumplimiento.

A pesar de que tienen claro la importancia de las personas recuperadoras de base, durante la entrevista se enfatiza el reto que tienen las Unidades de Cumplimiento para crear una estrategia que logre captar la confianza del sector, y así conseguir trabajar en conjunto.

4.1.2 Gestores de RAEE

4.1.2.1 Información general

De los 60 gestores de RAEE de la base de datos del Ministerio de Salud utilizada, se obtuvo respuesta de 22, lo que representa un 37%. A pesar de que estos resultados se centran en gestores de RAEE legalmente registrados ante el Ministerio de Salud, también incluyen algunos que están inactivos o que, si bien no son propiamente gestores de RAEE, gestionan estos residuos de alguna manera.

Como se observa en la Figura 4.10, la mayor cantidad de gestores de RAEE se encuentran ubicados en San José y Cartago, mientras que fuera del Valle Central se identificó que el 13,6% se ubican en Puntarenas, pues no se obtuvo respuesta en las provincias de Limón y Guanacaste.

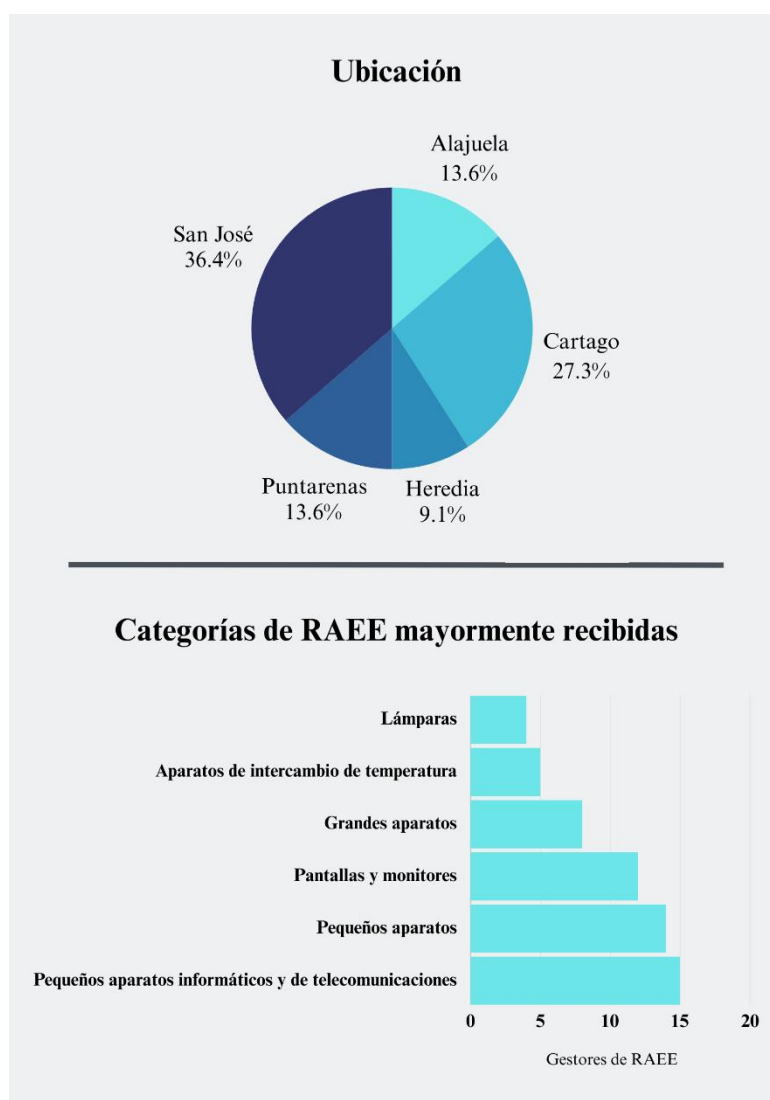


Figura 4.10. Ubicación de instalaciones y categorías de RAEE recibidas por los gestores encuestados

En cuanto a los RAEE gestionados, las categorías mayormente recibidas son los *pequeños aparatos informáticos y de telecomunicaciones*, al igual que en las Unidades de Cumplimiento, y los *pequeños aparatos*, seguido por las *pantallas y monitores*. Estos y el resto de los RAEE recolectados provienen generalmente de empresas o entidades generadoras y de campañas de recolección, mientras que el 15% corresponde a Unidades de Cumplimiento o importadores-productores y un 11% de recuperadores de base (ver Figura 4.11).

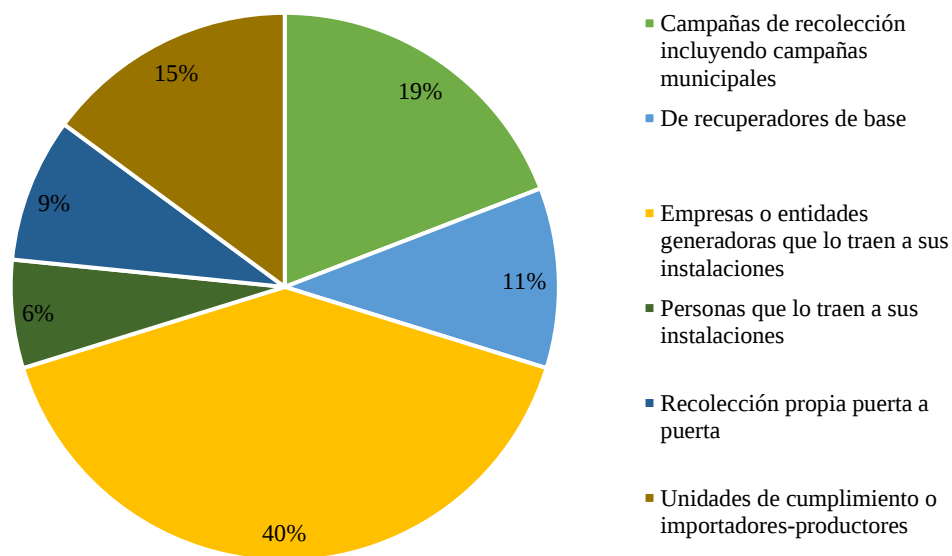


Figura 4.11. Procedencia de RAEE

4.1.2.2 Gestión de las pantallas y monitores con CRT

De acuerdo con los resultados de la encuesta, el 27% de los gestores actualmente recolecta residuos con CRT, el 55% en algún momento recolectó y el 18% nunca ha recolectado y gestionado CRT (Figura 4.12). Sin embargo, el 32% de los gestores indican recibir el yugo de las pantallas con CRT pues es la parte más valorizable y con mayor valor económico del residuo (Figura 4.13).

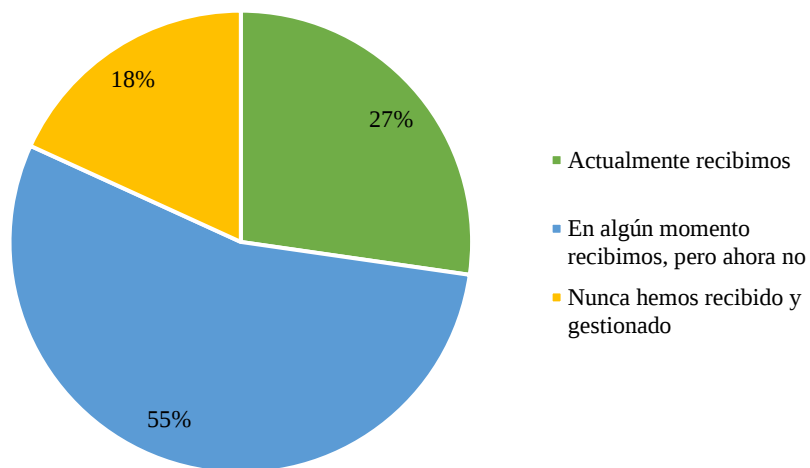


Figura 4.12. Cantidad de Gestores de RAEE que recolectan CRT

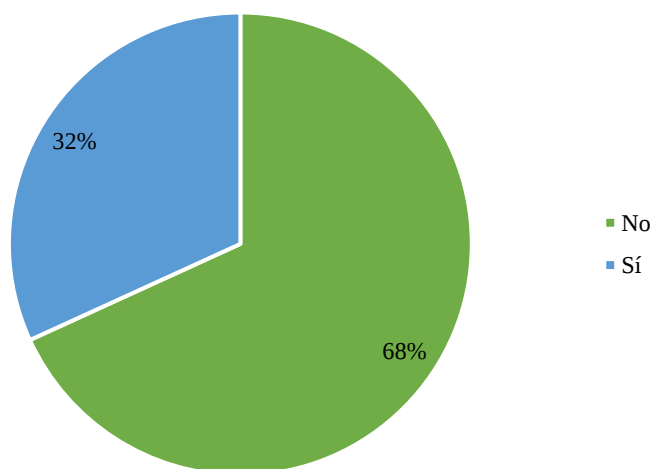


Figura 4.13. Cantidad de Gestores de RAEE que reciben el yugo de las pantallas con CRT

De acuerdo con las encuestas y entrevistas, las unidades de CRT recolectadas por los gestores varían entre 22 y 2,865 unidades al año, con un peso promedio de 27.6 kg cada una. La mayoría de estas unidades recolectadas son televisores, y su recuperación se realiza principalmente a través de las empresas que los traen o de las Unidades de Cumplimiento.

De las 22 respuestas solo un gestor menciona tener un costo específico por recibir y gestionar residuos con CRT, el cual es de US\$ 600 a 700 por tonelada. Esto es posible ya que el gestor solicita traer los RAEE separados por tipo, otros gestores que no implementan esta práctica como requisito, se les dificulta tener un costo específico para los CRT, pues les entregan los residuos mezclados y no tienen certeza de los tipos de RAEE que llegan, lo que ejemplifica una mala práctica.

Durante el proceso de recolección de información, se visitaron 3 gestores de RAEE ubicados entre Cartago y Alajuela. Durante estas visitas, se observó que, una vez recibidos los residuos con CRT, estos son almacenados en cajas o sacos para luego ser desensamblados manualmente. De los 3 gestores visitados, solo 1 cuenta con un procedimiento de separación y etiquetado de los residuos, lo que permite registrar la cantidad de pantallas con CRT antes y después del desensamblaje, asegurando así la trazabilidad del proceso.

En la línea de desensamble los gestores suelen tener de 2 a 10 personas, pero solo dos gestores cuentan con personas específicas para ciertos equipos, incluyendo los CRT. Estas personas cuentan con herramientas especializadas para llevar a cabo el proceso y mientras desarman las pantallas con CRT van separando las partes en recipientes rotulados según sea el material, el proceso tiene una duración de 4:16 min a 8:06 min según lo observado.

Además, 2 de los 3 gestores tienen material visual como listas de separación de residuos, residuos peligrosos, carteles informativos sobre qué hacer en caso de emergencia y solo un gestor cuenta con rótulos específicos en CRT. Por otro lado, no todos los trabajadores suelen utilizar el equipo de protección necesario para el desensamble de las pantallas con CRT, pues en dos de las visitas se observó la ausencia de guantes en ambas manos, así como el uso de lentes o caretas de seguridad.

El desensamble de las pantallas y monitores con CRT incluye la separación de componentes tales como carcaza, cables, yugo, tarjetas de circuito, tornillos, entre otros. Los componentes

resultantes del proceso de desensamble, incluyendo las unidades CRT (Figura 4.14), son almacenadas en cajas o sacos más grandes hasta acumular suficiente material y poder gestionarlos adecuadamente. Los 3 gestores entrevistados separan el plástico BFR y lo entregan a la empresa Cementos Progreso Costa Rica (CEMPRO) donde es valorizado por medio de co-procesamiento en horno de cemento.



Figura 4.14. CRT después del desensamble

Fotografía tomada durante visita a gestor

Cabe destacar que 1 de los 3 gestores entrevistados acumula las unidades CRT, tal y como se muestra en la figura anterior, siempre que estas no lleguen quebradas o se dañen durante el proceso de desensamble. En caso contrario, las unidades rotas se depositan en el relleno sanitario. Otro gestor entrevistado separa la pistola de electrones de la unidad CRT, lo que permite dividir el vidrio de pantalla y embudo del vidrio de cuello. Según lo indicado en la entrevista, estos componentes se gestionan de manera distinta, además acumulan las unidades CRT independientemente de si están o no quebrados. Se desconoce el proceso y las herramientas utilizadas para realizar los cortes de vidrio, ya que al momento de la visita no se disponía de pantallas con CRT para demostrar el procedimiento de desensamble.

De acuerdo con la Figura 4.12, del 27% de los gestores que al completar la encuesta indicaron actualmente recibir CRT (6 gestores de RAEE), el 50% almacena las fracciones peligrosas y las unidades CRT para exportarlas mientras que el otro 50% los entregan a otros gestores autorizados (Figura 4.15).

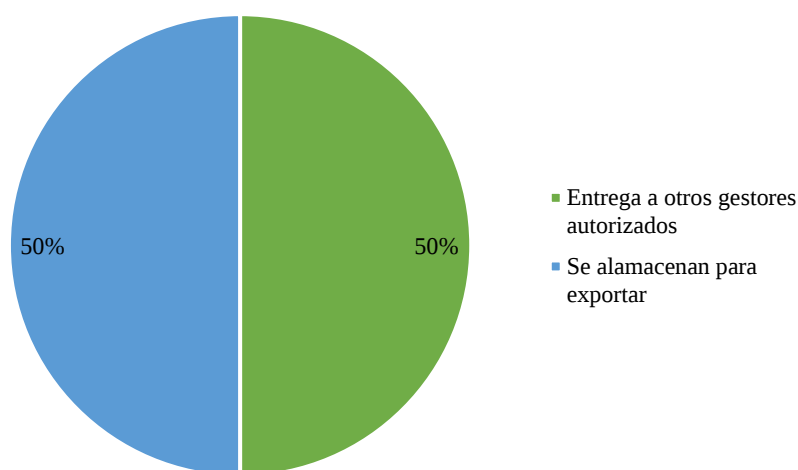


Figura 4.15. Gestión actual de los residuos con CRT y sus fracciones peligrosas

Entre los gestores que exportan, el 67% informó haber realizado entre 1 a 10 exportaciones en los últimos 5 años, mientras que el 33% no ha realizado ninguna (Figura 4.16). Las cantidades exportadas varían entre 1 500 kg hasta los 18 000 kg de CRT, y se envían a empresas especializadas en el procesamiento de vidrio CRT. Estas empresas lo destinan al reciclaje de vidrio, vitrificación, fundición, neutralización de Pb o extracción de metales para la fabricación de tarjetas. Entre las principales empresas receptoras se encuentran Dlubak Glass Company en Canadá, Camacho Recycling en España y Novatech en Estados Unidos.

No obstante, en una de las entrevistas se aclara que solo han realizado una exportación, la cual fue hace 10 años debido a que hasta la fecha no han contado con suficiente volumen para exportar y el transporte tiene el mismo costo independientemente del volumen que tenga, además actualmente carecen de un destino certificado al que puedan exportar.

A pesar de que una de las problemáticas más relevantes en la exportación es acumular suficiente material, ninguno de los gestores que indicaron exportar se han asociado con otros gestores para la gestión y exportación de los residuos con CRT.

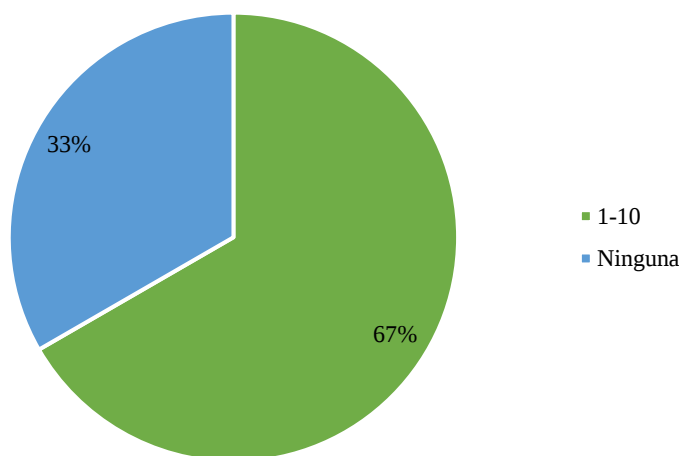


Figura 4.16. Exportaciones realizadas en los últimos 5 años

Por otra parte, 2 de los 3 gestores (67% según la Figura 4.17) que en lugar de exportar entregan los residuos con CRT a otros gestores, los envían a rellenos sanitarios y desconocen si se les brindan algún tratamiento previo. El 33% menciona que los gestores que reciben estos residuos separan los componentes y los exportan a destino de tratamiento.

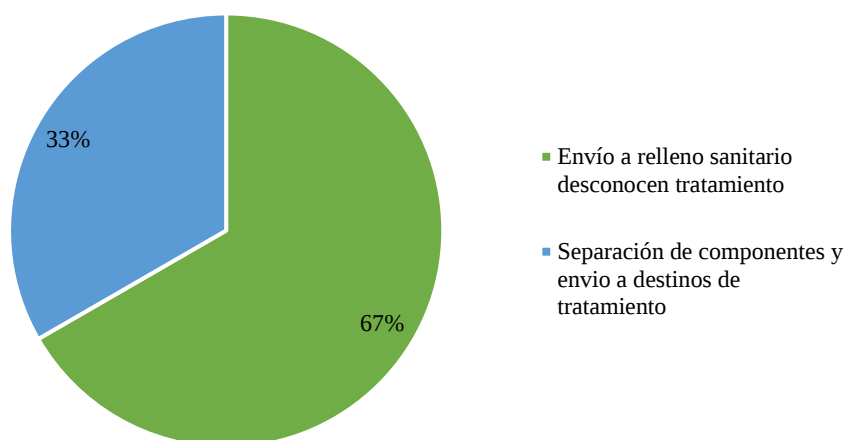


Figura 4.17. Gestión que reciben los residuos con CRT cuando son entregado a otros gestores

Las razones por las que estos gestores deciden no exportar se deben a la complejidad del trámite de exportación, los costos asociados al proceso y la falta de suficiente material para exportar, siendo este último la razón principal (Figura 4.18).

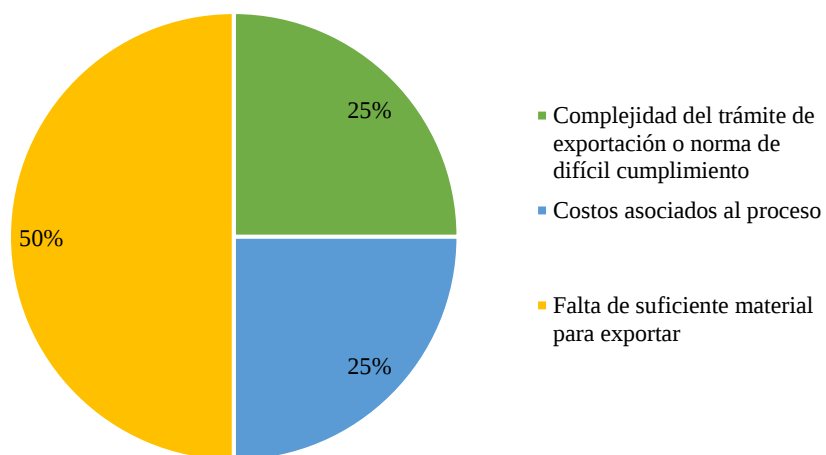


Figura 4.18. Razones de no exportar residuos con CRT

La principal razón del por qué el 73% de los gestores encuestados (Figura 4.12), es decir 16 gestores, no reciben residuos con CRT se debe a los altos costos que requiere la gestión y disposición, representando el 15% de las respuestas (Figura 4.19). Otros motivos que se mencionan son la baja rentabilidad de la valorización, desconocimiento de cómo gestionarlos, falta de opciones locales de disposición, volumen no atractivo y complejidad del proceso de gestión.

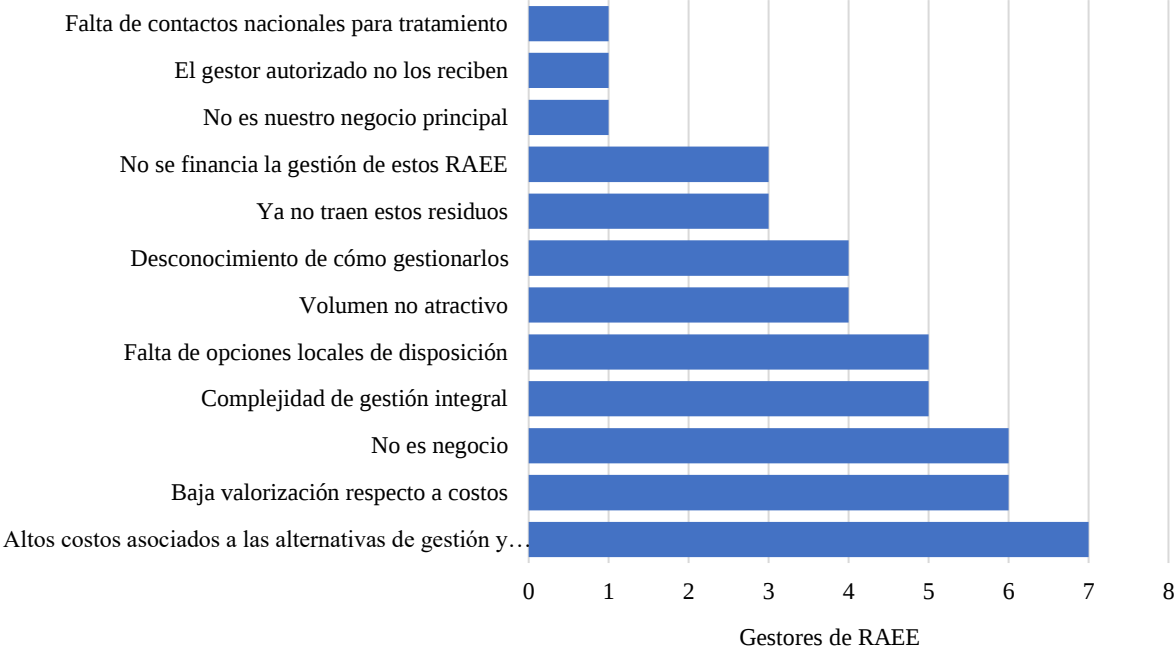


Figura 4.19. Razones por las que no reciben pantallas con CRT

4.1.2.3 Desafíos, riesgos e interés en alternativas de gestión

Según la Figura 4.20 el principal desafío de los gestores encuestados son los costos asociados a la gestión de los RAEE, lo que equivale a un 22%. La falta de sensibilidad de la población se coloca con un 17% como la segunda dificultad con más relevancia, seguido de la falta de alternativas de gestión, tratamiento, disposición y procesos autorizados locales, falta de apoyo de las Municipalidades y otras alianzas, y la falta de financiamiento suficiente por parte de la REP.

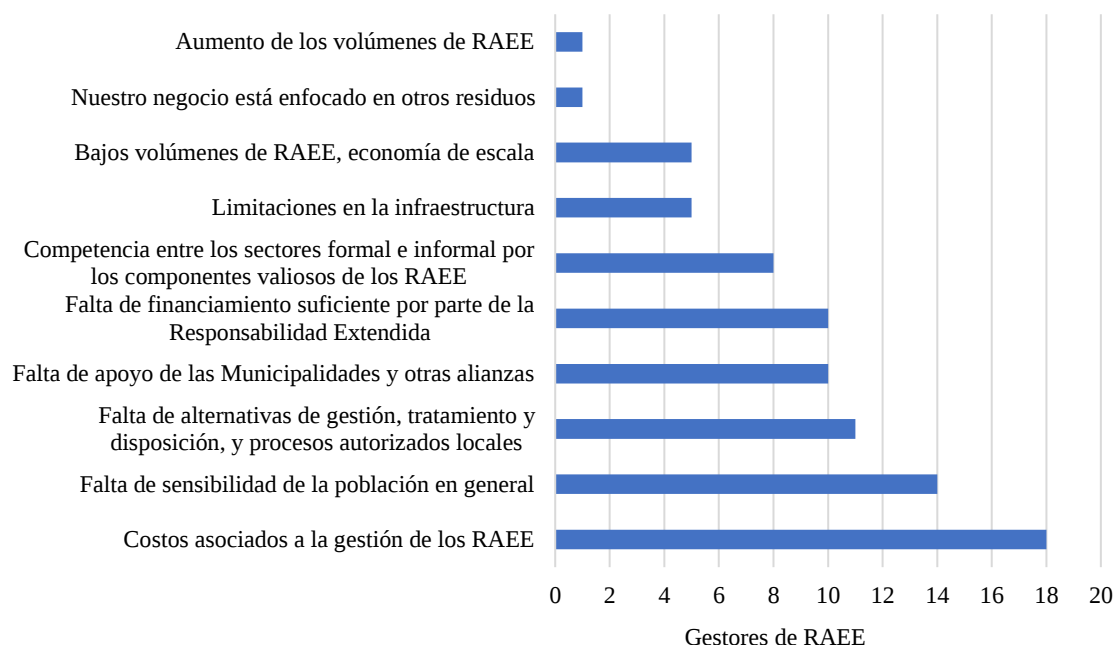


Figura 4.20. Desafíos que presentan como gestores de RAEE

En una de las entrevistas realizadas, se comentó la preocupación de la baja cantidad de RAEE que llegan actualmente a sus instalaciones, la cual puede verse afectada en parte por la competencia entre el sector formal e informal y por la falta de financiamiento por parte de las empresas generadoras que en algunos casos se aprovechan de las actuales campañas nacionales de recolección de RAEE, conocidas como RAEE-TÓN, para gestionar sus residuos y evitar el pago a un gestor.

A pesar de los desafíos que presentan, los cuales no son la excepción cuando de residuos con CRT se trata, el total de los gestores encuestados que exportan CRT están interesados en buscar alternativas adicionales de gestión locales para los residuos con CRT. Dentro de las razones que motivan el interés son: el peligro de los residuos y la urgencia de ser gestionados adecuadamente; la reducción de costos de logística y contar con más opciones de recuperación en el país; y la gran acumulación de RAEE que tienen en sus instalaciones.

Se les consultó a todos los gestores, incluyendo aquellos que no reciben ni gestionan CRT, si conocen alternativas de gestión para estos residuos. Des las 22 respuestas recibidas, el 73%

desconoce alternativas de gestión, el 25% indica que sí conoce y el 4% omite responder (Figura 4.21).

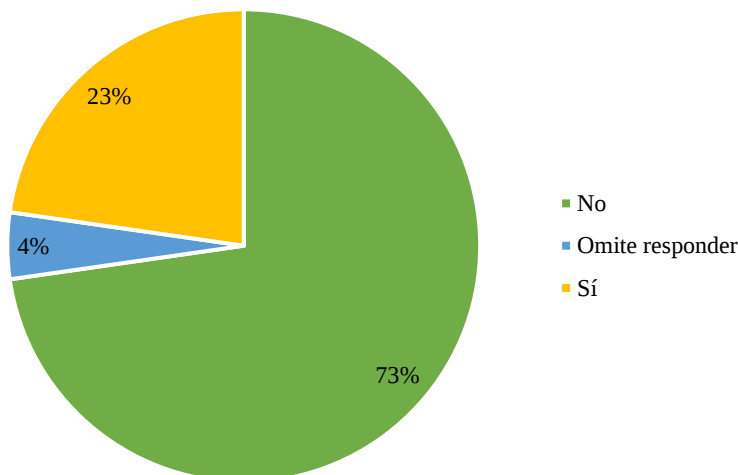


Figura 4.21. Conocimiento de alternativas de gestión para los residuos con CRT

Algunas de las alternativas mencionadas fueron separación de vidrio contaminado del limpio, recuperación del Pb, recuperación de metales y procesamiento del vidrio descontaminado, prohibir la venta de pantallas con CRT, uso en la fabricación de loza de cerámica para piso, responsabilidad de pago a consumidor y encapsulamiento. Los gestores aclaran que el principal inconveniente, e incluso la razón del por qué estas alternativas no se han puesto en marcha, es el Pb; así como la ausencia de gestores que se encarguen de neutralizar el Pb para disponerlos en relleno sanitario. Además, enfatizan la baja rentabilidad que tiene tanto la exportación de los CRT como la recuperación y procesamiento del vidrio descontaminado.

4.1.3 Recuperadores de base

4.1.3.1 Información general

En cuanto a este actor se recolectaron 12 respuestas. Al no ser un sector formal no se cuenta con el total de personas que trabajan como recuperadores de base ni con una base de datos que incluya contactos y residencia, por lo que dificulta brindar el porcentaje de representatividad. Por otro lado, muchas personas de este sector tienen horarios nocturnos o irregulares que complica el poder contactarles de forma presencial.

Según la Figura 4.22, la mayoría de las personas encuestadas trabajan en Heredia seguido de la provincia de Cartago. Como se mencionó en la metodología, la ubicación y la facilidad para aplicar las encuestas hicieron que gran parte de los recuperadores de base identificados provengan de Heredia, lo que explica que la mayoría declare trabajar en esta provincia.

Conforme a los resultados de la población entrevistada, se obtuvo que está compuesta principalmente por hombres y tan solo por un 17% de mujeres. Se caracterizan por trabajar en solitario, y a pesar de que el 42% indica formar parte de una organización esto no está relacionado con trabajar para recicladoras, centros de acopio y/o chatarrerías pues solo el 25% indica trabajar para una, mientras que el otro 25% trabaja en estos negocios ocasionalmente. Formar parte de una organización hace referencias a colectivos que tienen como objetivo la coordinación de acciones y conocimiento en la gestión de los residuos.

El trabajo irregular que ejercen algunas de estas personas en los negocios mencionados puede estar relacionado con las condiciones en las que se encontraban, pues casi la mitad tenían de 53 a 65 años. De acuerdo con lo conversado con este sector, estas edades no se ven favorecidas en la contratación de un puesto de trabajo. Por otro lado, el 33% de las personas encuestadas se encontraban en condiciones de adicción lo que les dificulta estar de forma regular en su trabajo.

Las personas recuperadoras de base usualmente se encargan de recolectar y desarmar residuos para recuperar las partes valiosas y venderlas a comerciantes o chatarrerías. Según los resultados obtenidos, la venta de partes o residuos con valor económico es la actividad principal para el 34% de las personas encuestadas (Figura 4.22). Sin embargo, hay quienes

solo comercializan, es decir, en lugar de salir a recolectar residuos y desensamblarlos, esperan a que otros recuperadores de base les entreguen componentes con valor económico para comprárselos y posteriormente revenderlos a negocios de mayor escala como chatarrerías.

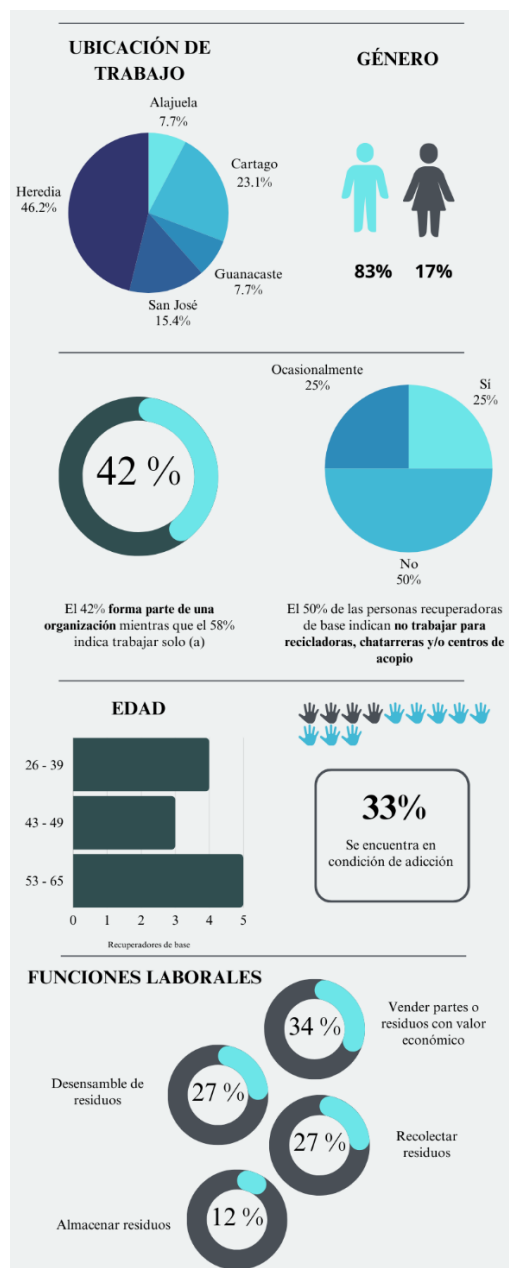


Figura 4.22. Información general de las personas recuperadoras de base encuestadas

El almacenamiento de residuos es la función menos realizada por el sector informal, con solo un 12%, ya que requiere disponer de un espacio amplio y una infraestructura adecuada. Por otra parte, el 59% de las personas que se encargan de recolectar residuos suelen recuperarlos sin usar algún medio de transporte, es decir lo realizan a pie mientras que el 17 % utiliza una carreta. Otros medios son utilizados para la recolección de residuos tales como el carretillo, carro o choches para bebés.

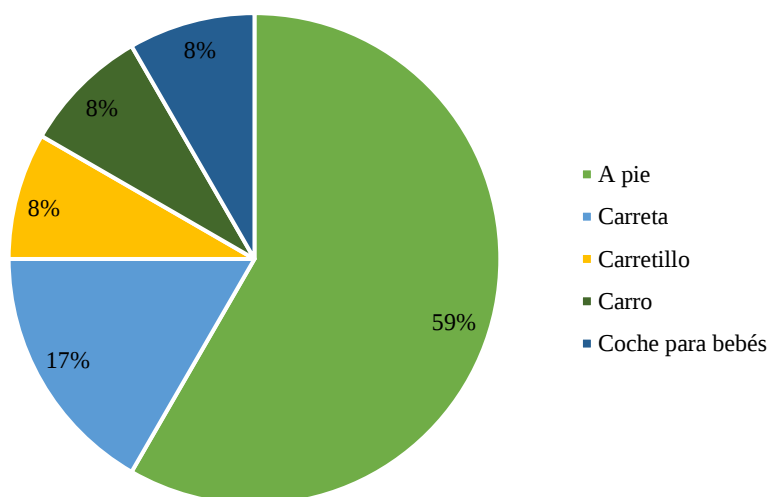


Figura 4.23. Medio utilizado para la recolección de residuos

Las latas y latón son los residuos con los que trabajan principalmente, y 9 de 12 personas encuestadas indican trabajar con chatarra y electrónicos (Figura 4.24), pues de estos residuos se recuperan componentes con valor económico, característica de gran importancia para este sector.

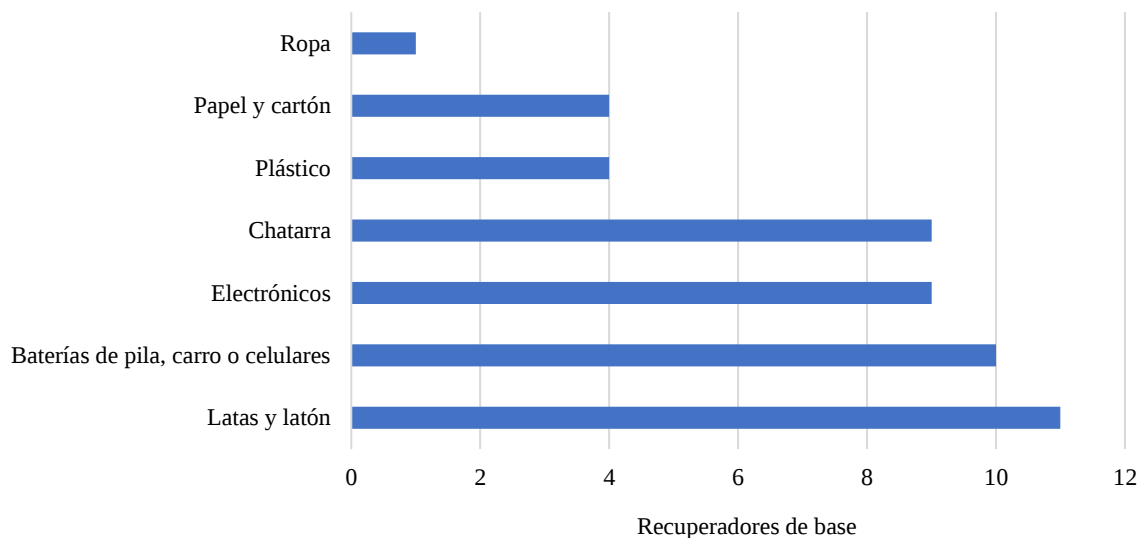


Figura 4.24. Residuos recuperados por recuperadores de base

4.1.3.2 Gestión de las pantallas y monitores con CRT

A partir de los resultados de la encuesta, de las 12 personas recuperadoras de base que respondieron, el 75% recolectan residuos con CRT mientras que el 25% no los recolecta (Figura 4.25), ya que indican que son difíciles de desarmar, transportar o almacenar, muy asociado a los medios empleados por los encuestados y además señalan que no tienen suficientes piezas con valor económico (Figura 4.26). Destacando el hecho de que este sector prioriza recuperar residuos que les deje una ganancia.

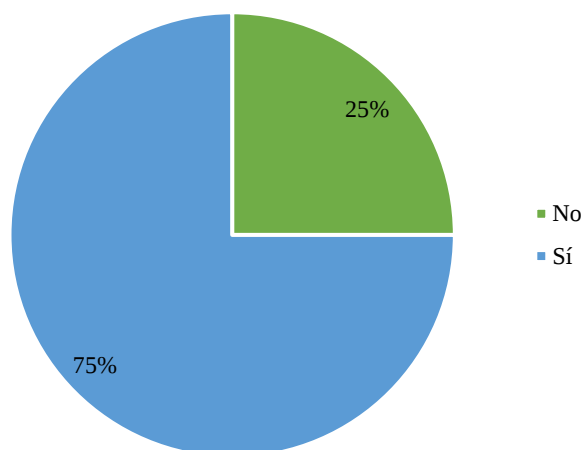


Figura 4.25. Cantidad de recuperadores de base que recolectan CRT

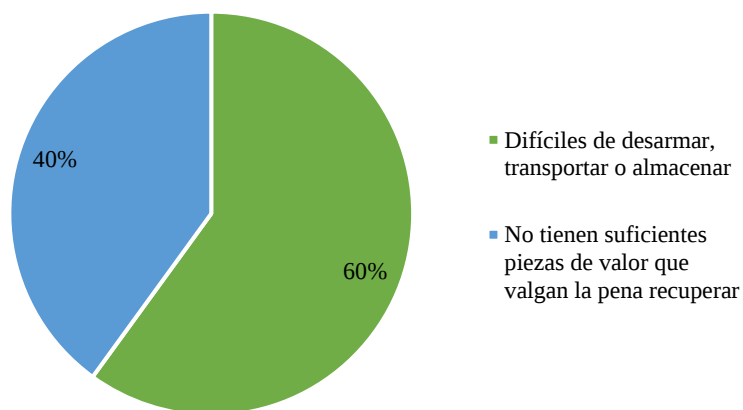


Figura 4.26. Razones de no recolectar residuos con CRT

Quienes recolectan estos residuos suelen recuperar al año de 1 a 5 pantallas con CRT o más de 20, mientras que el 11% recolecta de 5 a 10 unidades (Figura 4.27), las cuales principalmente son televisores y no monitores con CRT de acuerdo con lo conversado.

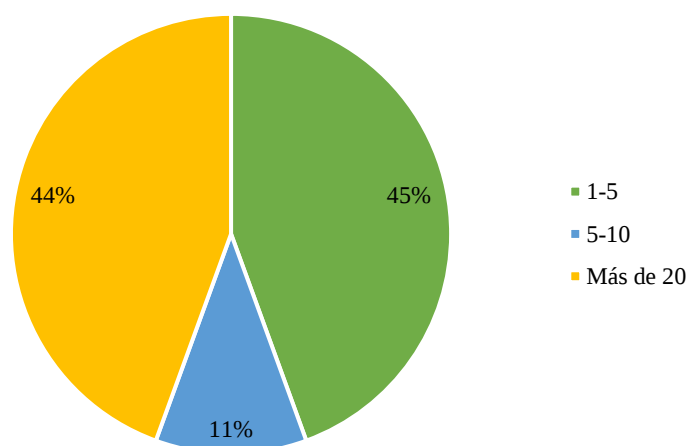


Figura 4.27. Cantidad de pantallas con CRT recolectados al año

Los televisores con CRT suelen recuperarse principalmente en vertederos y calles representado el 45% y 33% respectivamente. El 22% de las respuestas corresponde a aquellos CRT que son recuperados a través de la entrega directa a su negocio de trabajo o personalmente al recuperador de base que pasa de puerta en puerta (Figura 4.28).

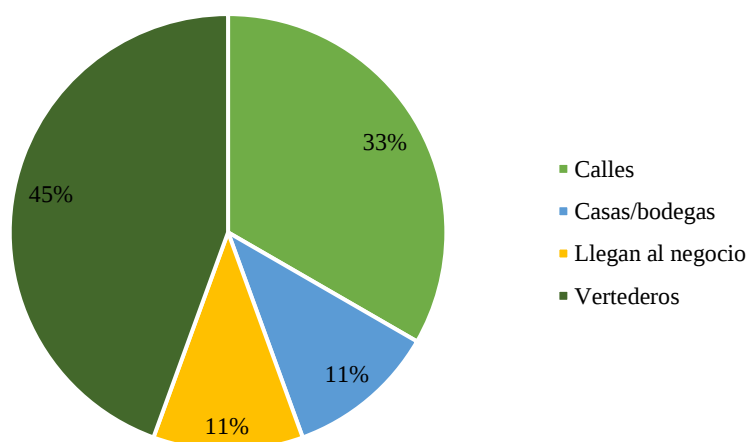


Figura 4.28. Lugares donde se recuperan las pantallas con CRT

Una vez recolectados, los desensamblan y venden los componentes con valor económico, especialmente el yugo, a chatarrerías y/o comerciantes, aunque también suelen repararlos y venderlos o bien venderlos tal y como los encuentran a personas que los reparan.

De acuerdo con lo obtenido en las encuestas, los precios que recibe este sector por los componentes que extraen son variados y dependen de un lugar a otro. Algunos mencionan recibir 3 000 colones/kg de Cu, 600 colones por el yugo o de 2 000 a 3 000 colones por el televisor completo.

Con respecto a las partes restantes, las cuales carecen de valor económico, usualmente son abandonadas en los lugares donde se encuentran las pantallas con CRT, aunque algunos indican dejar el restante en los puntos donde pasa el camión recolector de los residuos ordinarios.

4.1.3.3 Desafíos, riesgos e interés en alternativas de gestión

La principal dificultad que indicaron presentar este sector (Figura 4.29), es el poco apoyo que reciben del Gobierno, siendo el 21% de las respuestas. El 18% corresponde a los bajos precios que reciben por su trabajo, refiriéndose especialmente al precio que reciben por vender los componentes valiosos o los residuos.

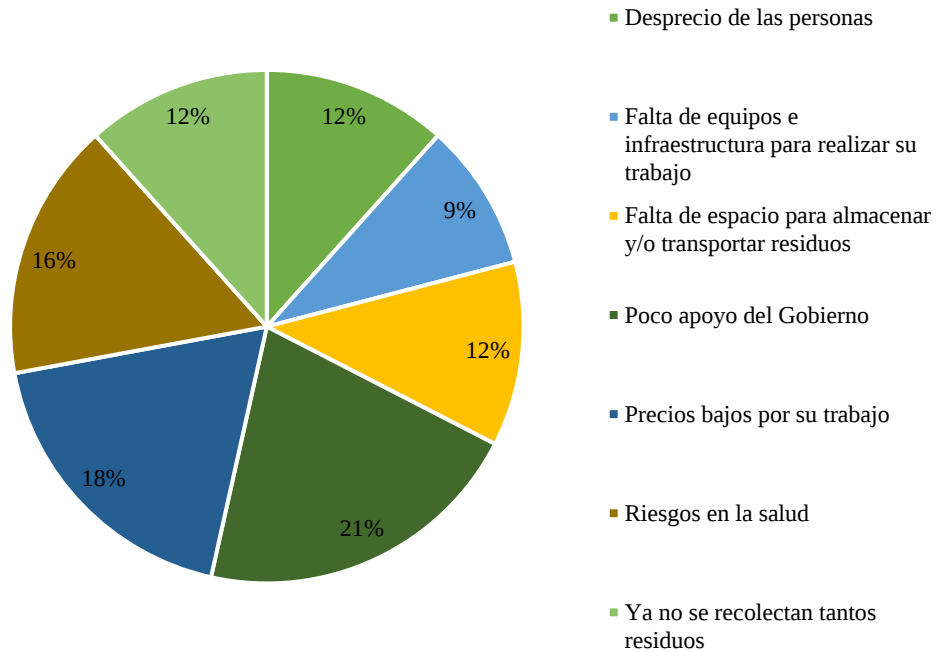


Figura 4.29. Dificultades que enfrenta el sector informal

La tercera dificultad, la cual corresponde al 16% de las respuestas, es el riesgo en la salud asociado a su trabajo pues solo el 50% de las personas encuestadas utiliza equipos de protección, siendo los más comunes: guantes, gorra y ropa de protección (Figura 4.30).

Dentro de los equipos de protección indicados en la encuesta, destaca la inclusión de un cuchillo. Aunque no se puede determinar con precisión el motivo de uso, este fue mencionado por una mujer que trabaja en un vertedero. Es importante resaltar que los vertederos enfrentan situaciones de agresión y acoso, las cuales suelen ser más graves para las mujeres [31].

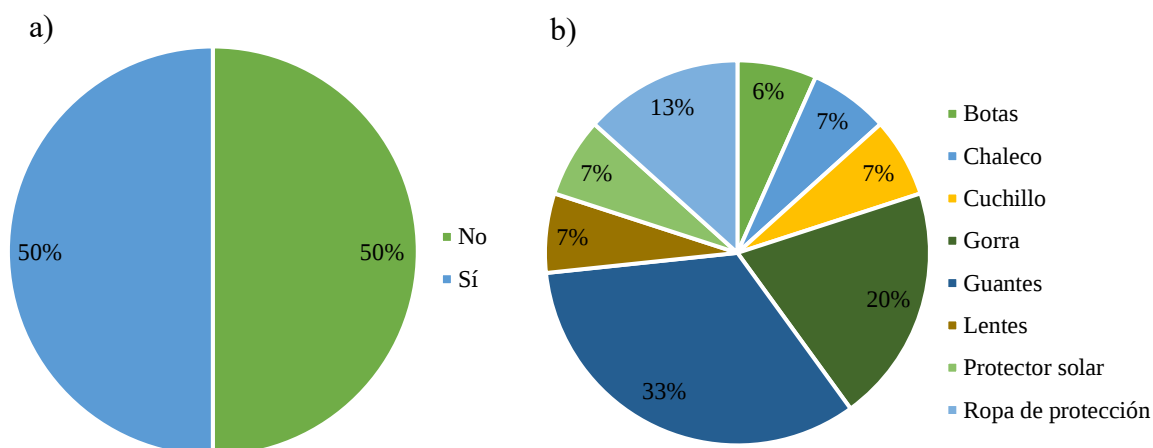


Figura 4.30. Uso y equipos de protección utilizados

A pesar de que el riesgo en la salud no es la dificultad número uno para este sector, la gran mayoría es consciente del peligro al que se enfrentan. Cuando se les consultó sobre los riesgos a la salud causados por los residuos con CRT, mencionaron el peligro de cortarse con el vidrio y que pedazos de este material entren en los ojos, o que en general su salud se ve afectada al realizar su trabajo, especialmente el desensamble, de una forma rudimentaria.

Otras dificultades, mostradas en la Figura 4.29, son la falta de espacio para almacenar y/o transportar residuos, el desprecio de las personas y que ya no se recolectan suficientes residuos, particularmente RAEE. Esta última dificultad es un desafío que comparte este sector con los gestores, lo que obliga a cuestionarse el destino final de dichos residuos.

4.2 INDAGACIÓN DE OPCIONES GLOBALES Y LOCALES PARA LA GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT

En esta sección se proporciona información detallada sobre algunas alternativas de gestión investigadas, aunque no se incluyen todas las opciones estudiadas, se seleccionaron aquellas con mayor madurez tecnológica comprobada y relevancia tanto para los alcances de esta investigación como para la economía de escala de un país como Costa Rica.

4.2.1 Exportación de unidad CRT

Actualmente la exportación ha sido la alternativa que en Costa Rica se ha implementado como vía para la gestión de las unidades CRT. Según las encuestas y entrevistas realizadas a gestores, los destinos de exportación se dedican a separar y procesar el vidrio, en algunos casos se descontamina, para utilizarlos en materiales de construcción, fundiciones o en recicladoras de vidrios. Sin embargo, el aprovechamiento de este residuo no ocurre dentro de los límites nacionales, por lo que el seguimiento y control de este residuo después de ser gestionado en territorio nacional es limitado, tanto que algunos de los gestores desconocen el tratamiento y la valorización que les brindan en el extranjero.

Teniendo en cuenta que en la exportación la mayor parte del proceso sucede en otros países, corresponde evaluar esta alternativa dentro de lo que el país tiene injerencia como es el caso del transporte del residuo. Existe un riesgo ambiental en caso de rotura o derrame durante el transporte. Se debe considerar que un residuo CRT puede llegar a tener un 24,6% de PbO y que la lixiviación promedio de Pb del vidrio CRT por sí solo es de 18.5 mg/L [2], [15], [32].

Los gestores de RAEE dismantelan las pantallas y monitores con CRT, separando sus componentes. Una vez almacenada la suficiente cantidad de material, realizan el trámite correspondiente con el Ministerio de Salud para su exportación. A pesar de que esta es la práctica habitual de los gestores de Costa Rica, tal parece que no son la mayoría quienes se dedican a exportar CRT pues una de las razones principales que limitan a estos gestores son los costos asociados y la complejidad del trámite.

Debido a que el proceso de valorización no ocurre en territorio nacional y considerando que en muchos casos no existe una trazabilidad del residuo, se asume una baja recuperabilidad.

4.2.2 Extracción del plomo

Sabiendo que comúnmente el Pb se obtiene por extracción de los minerales naturales y que estos se encuentran en escasez, el reciclaje del metal se vuelve una necesidad. El contenido de Pb en los minerales de Pb primario más comunes, derivados de la galena (PbS), varía aproximadamente de 0,40 kg/kg a 0,77 kg/kg. Teóricamente el PbS contiene 0,87 kg/kg Pb [2], [33].

El vidrio CRT tiene fracciones de masa de Pb de 0,11 kg/kg a 0,23kg/kg solo en el vidrio de embudo (calculado con el porcentaje de masa del PbO en la Tabla 2.1 y la relación molar del Pb en PbO). Otros estudios indican en promedio 0,21 kg/kg considerando el vidrio de cuello y embudo. Estas cantidades pueden variar según el fabricante [2], [15].

La extracción del Pb del vidrio CRT se ha estudiado con métodos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos (comentados en la Sección 2.5.1.1). En Costa Rica no se han llevado a cabo estudios o pruebas de extracción de Pb en el vidrio CRT, sin embargo, hay empresas que reciclan este metal donde la materia prima son las baterías ácido-plomo y la extracción se realiza con el método pirometalúrgico. Se obtienen lingotes de Pb como producto final, los cuales se destinan al uso industrial, principalmente a la fabricación de otras baterías de ácido-plomo.

El Pb en las baterías suele separarse en medio húmedo o disponiendo el ácido sulfúrico y retirando la pasta de sulfato de plomo (PbSO_4) de las baterías, una vez separado se somete al método de extracción. La separación del metal puede presentar un inconveniente en la puesta en marcha de esta alternativa, pues el Pb presente en las baterías no es el mismo que el del vidrio CRT, una batería ácido plomo puede contener 48% PbSO_4 , 46% PbO_2 y 5% Pb metálico [34], [35].

Esto obliga a realizar análisis previos apoyados de centros de investigación que demuestren si la separación del vidrio CRT puede ejecutarse de la misma forma que actualmente se realiza en el país con las baterías ácido-plomo o bien, investigar qué tanto el vidrio CRT modificaría la línea de producción, evaluando la variación en el costo de los agentes reductores o si los equipos con los que se cuentan son aptos para la extracción del Pb del vidrio CRT.

Costa Rica también cuenta con empresas que gestionan residuos peligrosos y especiales que han trabajado a baja escala la extracción de metales con métodos hidrometalúrgicos. Lo que sienta un precedente en la propuesta para que se pueda llevar a cabo mediante una sinergia de métodos (hidrometalurgia-pirometalurgia). La sinergia de métodos trae beneficios, pues desaparece la preocupación de disponer adecuadamente la escoria metalúrgica y evita emisiones de dióxido de azufre, en general la hidrometalurgia se considera un método más limpio [1], [34].

Como se mencionó anteriormente, el Pb reciclado puede seguir destinándose a la fabricación de baterías ácido plomo, que además coincide con los principales usos a nivel mundial. Esto sugiere que, la recuperabilidad de la alternativa se considere alta, además es más probable que una batería sea entregada a gestores de RAEE, lo que beneficia la trazabilidad del metal [2], [34].

En las baterías ácido plomo, el deterioro o un manejo inadecuado pueden provocar la lixiviación de Pb, dependiendo de factores como la acidez y la exposición al agua. Aunque la información acerca de la lixiviación de Pb durante el uso de baterías de ácido plomo fabricadas con Pb extraído de vidrio CRT es limitada, se estima que su comportamiento podría ser similar a la de las baterías ácido plomo convencionales, sin embargo, esto dependerá de la pureza del Pb utilizado. Dado a que no se encuentra información sobre la lixiviación de Pb en estas baterías durante su uso, se evalúa el riesgo asociado al proceso de extracción. Estudios han registrado contaminación del suelo en los alrededores de plantas de reciclaje del sector formal, con concentraciones medias de Pb en el suelo que varían entre 1000 mg/kg y 2500 mg/kg. En suelo residenciales, los niveles de Pb suelen oscilar entre 50 mg/kg a 400 mg/kg, valores que pueden ser mayores en suelos no residenciales [36], [37].

4.2.3 Concreto

La elaboración de concreto ha sido una alternativa previamente evaluada en el país a nivel de laboratorio, donde las pruebas de ensayo dieron como resultado la posible sustitución del vidrio de pantalla CRT en proporciones de 0 a 40% utilizando cemento portland. Sin embargo, porcentajes de sustitución en un 40% implica costos adicionales debido al acondicionamiento previo del vidrio, lo cual no incluye inertización del Pb, pero sí limpieza del recubrimiento de fósforo. Además, se deben considerar riesgos tanto en la manipulación

de la arena, pues el vidrio molido es cortante, como en la salud de las personas por la peligrosidad que presenta el polvo de vidrio si se inhala [14].

En esta investigación la sustitución recomendable es de 25%, no obstante, solo considera las características óptimas que debería tener el concreto, dejando de lado criterios ambientales y económicos. Asimismo, la evaluación se realizó con el vidrio de pantalla, el cual contiene menos Pb [14].

Otros estudios indican que, utilizando el proceso de fabricación tradicional del concreto, se pueden sustituir los agregados finos (arena), con vidrio de embudo CRT sin ser procesado. Este reemplazo debe ser menos de un 10%, ya que porcentajes mayores presentan lixiviaciones de Pb por encima del estándar de agua potable. Según el método 1312 del EPA Procedimiento de lixiviación por precipitación sintética (SPLP, por sus siglas en inglés), se obtienen valores que varían de 0,18 mg/L a 0,338 mg/L. Sin embargo, cuando se reemplaza parcialmente el agua por una solución biopolimérica, los resultados de lixiviación en reemplazos superiores al 10% se reducen a un rango de 0,012 mg/L a 0,033 mg/L [38].

Cuando el vidrio de embudo es previamente tratado, es decir cuando se extrae el Pb, se puede reemplazar hasta el 25% del volumen de agregados finos, obteniendo características físicas, mecánicas y de durabilidad aceptables. Con este porcentaje de sustitución, los resultados muestran que la lixiviación de Pb es de 0,86 mg/L en bloques de concreto con agregados gruesos, mientras que, en aquellos sin agregados gruesos, la lixiviación de Pb es de 1.42 mg/L [2], [39].

De igual forma, se ha determinado que la sustitución de este material en cualquier proporción requiere de cuidados en el campo, por lo que su uso está enfocado a empresas que elaboran bloques de concreto que lo hagan más funcional [14].

A pesar de que actualmente Costa Rica carece de este giro de negocio, hay empresas que confinan plásticos en bloques de concreto a través de un proceso térmico y sustituyendo de 1% a 2% sobre el volumen de los agregados finos. Utilizar plásticos en la fabricación de agregados para la elaboración de bloques de concreto no altera el proceso convencional pues este material se maneja igual que los agregados tradicionales, diferencia con respecto al vidrio CRT, pues dependiendo del vidrio y los porcentajes a sustituir requerirá un

acondicionamiento previo. Asimismo, se necesitarían equipos aptos para trabajar con el vidrio, así como conocer con mayor certeza la consistencia óptima con la que se puede trabajar a escala industrial la sustitución del vidrio CRT, de forma que no altere las propiedades del producto final y no sea un riesgo en la salud de las personas trabajadoras.

Enfatizando lo mencionado en la Sección 2.5.1.4, esta alternativa carece de evaluaciones en su aplicación. Según lo indicado en la entrevista con la empresa que confina plásticos, una de las limitantes que presentan los “productos verdes” es que Costa Rica no cuenta con especificaciones y/o normativas que indiquen qué proporciones de materiales alternativos se pueden utilizar en el sector construcción. Esto limita colocar y obtener una alta demanda de los productos verdes en dicho sector.

Además, en los últimos años el país ha presentado un gran reto en la gestión de los residuos de construcción, y aunque se cuenta con guías de manejo y estudios referentes al tema, aún sigue siendo una de las principales preocupaciones ambientales pues muchos de los residuos de construcción terminan en cuerpos de agua o dispuestos en los suelos después de proyectos de construcción, esto a causa de aspectos técnicos, concientización y a la aplicabilidad de la ley. Debido a lo anterior y considerando que los residuos de construcción se encuentran dispersos geográficamente, se asume una baja recuperabilidad [40].

4.2.4 Vitrocerámicas

La vitrificación ha sido utilizada como medio de disposición provisional y final para residuos peligrosos y nucleares, tales como aceites contaminantes, residuos médicos, residuos industriales y lodos, escoria siderúrgica y residuos de asbesto. Usualmente para la vitrificación se utiliza materiales con composición de aluminosilicatos (SiO_2 y Al_2O_3) [2], [41].

El proceso de vitrificación involucra trituración fina y la fusión de materiales con formadores de vidrios a altas temperaturas. Los formadores de vidrio son aquellos elementos que pueden reemplazar el silicio en los vidrios de silicato, otros elementos no son formadores de red y en su lugar la modifican, esto incluye a mucho de los cationes monovalentes y divalentes, algunos metales y metaloides. De esta propiedad se beneficia el proceso para inertizar/encapsular los residuos peligrosos que se vayan a tratar [41], [42].

Lo anterior implica que, el vidrio CRT, específicamente de embudo, puede ser un buen medio para vitrificación de residuos peligrosos pues se beneficia del contenido de silicatos como de Pb; en uno el residuo quedará atrapado en la estructura cristalina y el otro funciona como encapsulamiento.

Sin embargo, esto es un uso del vidrio CRT en donde sigue existiendo la incertidumbre acerca del contenido de Pb. Aunque no se ha encontrado información específica sobre la lixiviación de Pb en esta alternativa, según los resultados del método 1311 del EPA Procedimiento de lixiviación de características de toxicidad (TCLP, por sus siglas en inglés), se asume que el Pb no está completamente integrado en la matriz de silicatos, pero si lo suficientemente encapsulado en la matriz de vidrio. Aunque otros estudios no analicen específicamente la lixiviación de Pb en vitrocerámicas fabricadas con vidrio CRT, confirman la viabilidad de aplicaciones de vitrocerámicas, elaboradas con ceniza de fondo y volantes, en el sector de la ingeniería. De acuerdo con la prueba TCLP, la estructura química de las vitrocerámicas es lo suficientemente estable para que las concentraciones de lixiviación de metales pesados en los productos finales estén por debajo de los límites regulatorios establecidos por la EPA de EE. UU. [2], [32], [43].

En otros estudios se menciona que la producción de vitrocerámicas utilizando vidrio CRT y escoria de alto horno dio como resultado un aumento en el contenido de óxido de calcio (CaO) y Al_2O_3 en relación con la disminución de SiO_2 , lo que provoca el aumento de la temperatura de transformación vítrea, esto a pesar de que el Pb del vidrio CRT reduce el punto de ablandamiento. La formulación de vidrio para la vitrificación dependerá del tipo de residuo y sus componentes, así como de la composición química del vidrio [41].

En Costa Rica, la empresa Vidriera Centroamericana (VICESA) utiliza el vidrio quebrado o “cullet” para la producción de vidrio. A pesar de que el vidrio CRT contiene compuestos deseables para la producción de vidrio también contiene proporciones, las cuales varían según su fabricante, de SrO , TiO_2 y CeO_2 , metales que no se utilizan en grandes cantidades en la producción de vidrio pues generan efectos químicos que han sido poco estudiados. Por otro lado, estudios indican que los usos y aplicaciones del tipo de vidrio de los CRT es uno de los más complejos [14], [41].

Pese a que la producción de vitrocerámicas, al igual que la elaboración de concreto, presenta buenas propiedades mecánicas y una alternativa para disponer desechos peligrosos de diferentes sectores industriales, sigue siendo un enfoque que aún se encuentra en investigación pues carece de directrices cuidadosas de evaluación tanto en propiedades mecánicas como en la seguridad ambiental para determinar con certeza su aplicación en la industria [27], [41].

En una de las entrevistas a gestores, se comentó que anteriormente la producción de vitrocerámicas se propuso como alternativa de gestión para los vidrios CRT, sin embargo, no tuvo éxito, se desconoce las razones del caso.

Finalmente, considerando que será un medio provisional para disponer residuos peligrosos, y así aprovechar propiedades del Pb, y que su posible uso sea en materiales del sector construcción, se asume una baja recuperabilidad.

4.2.5 Material cementante suplementario

El vidrio de embudo CRT ha sido estudiado para sustituir el agregado fino en la fabricación de mortero, siendo una alternativa tanto para disponer el vidrio plomado como para reducir el consumo de recursos naturales y promover la protección del ambiente. La elaboración de mortero contiene cemento, agua y agregado fino, este último proviene de la extracción de arena de río, la cual se estima que en un futuro no satisfará la demanda para la fabricación de mortero [44].

Para esta alternativa se necesita triturar el vidrio CRT, una vez triturado se puede añadir directamente a la mezcla de mortero o tratarlo previamente con ácido nítrico antes de añadirlo. A pesar de que ambas formas comprueban que mejoran las propiedades de fluidez, la resistencia mecánica, la resistencia contra la penetración de iones cloruro e iones sulfato, se ha concluido que añadir el vidrio CRT directamente al mortero con sustituciones al 40% provoca que la cantidad de lixiviación de Pb del mortero endurecido, excede el rango de 5mg/L, cantidad máxima recomendada por el EPA. [45], [46].

Sumergir vidrio pulverizado en ácido nítrico al 5% durante 3 horas se ha mostrado como una opción efectiva para reducir la liberación de Pb al ambiente sin comprometer las propiedades óptimas del mortero. Para ello se han realizado evaluaciones de diferentes mezclas de

mortero con cemento portland, cenizas volantes (FA, por sus siglas en inglés) o escoria granulada de alto horno (GGBS, por sus siglas en inglés), y vidrio CRT tratado previamente con ácido nítrico, donde la única variante era la sustitución del vidrio CRT sobre el agregado fino. Estas evaluaciones revelaron mejoras en la fluidez, densidad endurecida, reducción en la absorción de agua y resistencia a la penetración de cloruro, aunque la contracción por secado aumentó. A largo plazo, la cantidad de vidrio CRT en el mortero endurecido influye en la liberación de Pb al ambiente, aunque la lixiviación nunca superó los 5 mg/L, siendo ligeramente superior en el grupo GGBS, e incluso redujo la lixiviación de Pb del vidrio CRT pulverizado tratado con ácido nítrico. Considerando la resistencia mecánica, durabilidad y compatibilidad ambiental, se recomienda una mezcla de mortero que contenga un 50% de vidrio CRT tratado con ácido nítrico. Este material muestra una lixiviación de 0,687 mg/L y 0,536 mg/L cuando se utiliza FA a los 28 y 90 días de curado, respectivamente. Por otro lado, al emplear GGBS, la lixiviación de Pb es de 0,775 mg/L y 0,686 mg/L a los 28 y 90 días de curado, respectivamente [44].

En otro estudio, se llevan a cabo evaluaciones en mezclas de mortero que sustituyen parte del cemento portland por vidrio CRT, en proporciones que van desde el 5% hasta el 35%, estudiado en un período de curado de 300 días. Los resultados del estudio indican que la sustitución del 15% de cemento por vidrio CRT es la óptima durante todo el tiempo de curado, ya que produce una resistencia a la compresión superior a la del cemento portland, con 34.4 MPa frente a 32.1 MPa. Además, se observan correlaciones adecuadas entre la adición del vidrio CRT con variaciones en la porosidad y la absorción de agua, las cuales también muestran una correlación fuerte con el tiempo de curado y la resistencia a la compresión. Sin embargo, se destaca que la adición de vidrio CRT aumenta el tiempo de fraguado. En cuanto a la liberación de Pb al ambiente, se determina que el cemento es capaz de encapsular este metal, al menos frente al ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, utilizados como lixiviantes, a temperatura ambiente, ya que las pruebas de lixiviación arrojaron un nivel indetectable de Pb en las muestras con adición de vidrio CRT [47].

En el país, aún no se ha estudiado específicamente esta alternativa, pero se encuentran disponibles en el mercado cementos ecológicos que podrían estar elaborados con materiales reciclados de construcción y demolición. Según las fichas técnicas de EcoPact, fabricado por

Holcim, existen productos diseñados para tráfico peatonal y rodado ligero, con resistencias de 10-15 MPa y 15-20 MPa, respectivamente [48], [49], [50].

Aunque esta opción presenta algunas limitaciones similares a la fabricación de concreto a partir de vidrio CRT, posee una ventaja significativa: su uso no está dirigido hacia los mismos propósitos. Mientras que el concreto se utiliza para soportar cargas estructurales elevadas, el mortero con vidrio CRT puede emplearse para nivelar, adherir o rellenar estructuras. Además, aborda la limitación cultural y, sobre todo, el temor de la población hacia la integración de productos sostenibles en los espacios físicos en donde conviven.

Al igual que con la alternativa del concreto, debido a su enfoque en el sector de la construcción, se asume que tiene una baja recuperabilidad.

4.2.6 Agente fundente

La fundición es una de las alternativas más comunes para la gestión de vidrios CRT. Como se mencionó en el apartado 2.5.1.2 la fundición de Cu y Pb utiliza grandes cantidades de sílice que pueden ser sustituidas por vidrio CRT. No obstante, el principal desafío que surge de esta alternativa es la búsqueda de una adecuada gestión de la escoria metalúrgica.

Se ha demostrado que la escoria presenta características favorables que pueden ser utilizadas en el sector de la construcción como en lastres, aditivos de cementos, abrasivos, agregados, vidrio, entre otros. El uso de la escoria en cualquiera de estas aplicaciones dependerá de las políticas y regulaciones de cada país, donde la principal preocupación es la lixiviación de la escoria [26].

A partir de lo anterior se ha estudiado la lixiviación de Pb en muestras preparadas con escoria de fundición de Cu junto con mezcla de vidrios CRT, variando tanto el porcentaje de escoria como el de vidrios CRT, para nuevamente fundirlo y observar la influencia del vidrio sobre la escoria. Este estudio muestra un alza en la lixiviación de Pb y otros elementos, a excepción del Ca, a medida que se añade una mayor cantidad de vidrios CRT. Para la muestra preparada con 10% de vidrios CRT se reporta una lixiviación de 12 $\mu\text{g/l}$ de Pb a diferencia de la muestra preparada con 35% de vidrios CRT, la cual presentó una lixiviación de 53 $\mu\text{g/l}$. Además, bajos contenidos de vidrios CRT no presentan una afectación significativa en las características mineralógicas de la escoria metalúrgica [2], [26].

Además de la incertidumbre sobre cómo tratar la escoria metalúrgica, esta alternativa presenta otras limitantes significativas, como el número de fundiciones de Cu y Pb, así como la formación de dioxinas, a menos que se realicen las inversiones necesarias para la creación de instalaciones y medidas especiales. En Costa Rica, estas industrias comúnmente incluyen fundiciones de Cu, Al, bronce y acero, siendo este último el único metal ferroso y del que más información se encuentra en la literatura académica. Sin embargo, el vidrio CRT no puede utilizarse en fundiciones de metales ferrosos pues no se utiliza arena en el proceso. Asimismo, debido a las cantidades de Silicio (Si) que contienen los vidrios, su uso no se recomienda ya que este elemento es contaminante para el acero y el objetivo principal de las fundiciones de acero es reducir los niveles de Si para mantener la ductilidad del material [1], [15], [51].

De acuerdo con la reglamentación de Costa Rica los desechos industriales pueden disponerse en un relleno sanitario siempre y cuando sean previamente neutralizados o tratados que los hagan asimilables a residuos ordinarios, en caso contrario deberá disponerse en celdas de seguridad diseñadas especialmente para estos tipos de residuos, lo cual requiere de la autorización de la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud. A falta de celdas de seguridad para este tipo de residuos y a procedimientos que neutralicen o traten la escoria metalúrgica antes de su disposición se supone una baja recuperabilidad para esta alternativa [L11].

De igual manera, si se decide utilizar la escoria metalúrgica en el sector de construcción, la recuperabilidad asumida será baja ya que aparte de considerar la dispersión geográfica de los residuos de construcción, no se tiene regulaciones sobre el uso de la escoria metalúrgica en dicho sector.

4.2.7 Disposición en celdas de seguridad para residuos peligrosos

Como se mencionó anteriormente, la disposición de desechos industriales y/o peligrosos en rellenos sanitarios está permitida únicamente si estos han sido previamente neutralizados o tratados, o bien deben disponerse en celdas de seguridad diseñadas específicamente para estos residuos [1], [2], [L11].

Según la entrevista realizada a la empresa encargada de la disposición de residuos en rellenos sanitarios, en Costa Rica, el único residuo peligroso actualmente aceptado en dichos rellenos es el asbesto. Para otros residuos peligrosos, como los CRT, no existen celdas de seguridad ni gestores que realicen un tratamiento previo que garantice que pueden disponerse como residuos ordinarios. Esta situación, imposibilita recibirlos y disponerlos en estos sitios de disposición final, ya que no se puede asegurar que no afectarán la planta de tratamiento y, por tanto, el ambiente y la salud, considerando que los lixiviados son tratados por procesos biológicos que no separan los metales pesados como el Pb.

Se han diseñado reactores a escala de laboratorio que simulan condiciones normales de operación en rellenos sanitarios y vertederos abiertos, con el objetivo de evaluar la lixiviación de metales pesados a partir de diferentes mezclas de disposiciones de RAEE. Para este análisis se utilizó el Método 6020 B del EPA, mediante Espectrometría de Masas con Plasma acoplado Inductivamente (ICP-MS, por sus siglas en inglés), junto con digestión ácida, durante un período de 6 meses.

Los resultados muestran que la lixiviación de Pb en vertederos abiertos con RAEE mezclados con residuos ordinarios municipales fue inferior a 0,01 mg/L. Sin embargo, cuando los RAEE se dispusieron exclusivamente en vertederos abiertos, la concentración máxima de Pb registrada fue de aproximadamente 0,085 mg/L, mientras que en rellenos sanitarios fue de 0,090 mg/L. Cabe destacar que en todas las muestras se incluyeron fragmentos de vidrio CRT de aproximadamente 8cm², y que las concentraciones de Pb fueron mayores cuando se disponían exclusivamente RAEE [52].

No obstante, es importante señalar que estos resultados provienen de estudios en laboratorio, por lo que es esperable que las concentraciones de metales pesados sean menores en comparación con los obtenidos en rellenos sanitarios en funcionamiento, ya que las características de los lixiviados dependen de factores como los años de operación, la composición de los residuos, el contenido de agua, la geografía, así como las condiciones climáticas. En estudios previos sobre lixiviados crudos en rellenos sanitarios en funcionamiento, se ha reportado una lixiviación de Pb igual a 0,22 mg/L [52], [53].

Por otro lado, los procesos biológicos no han demostrado ser efectivos para la eliminación de metales pesados a menos que se combinen con tratamientos fisicoquímicos. Por ejemplo, los lixiviados tratados mediante precipitación química alcanzaron concentraciones de Pb de 0,05 mg/L, pero otros métodos como la filtración por membrana han sido más efectivos. Sin embargo, estos métodos aún no cumplen completamente los estándares de descarga de efluentes. Por ello, se han investigado técnicas avanzadas, como la osmosis inversa y la nanofiltración, combinadas con procesos biológicos convencionales, logrando una reducción del Pb en los lixiviados de hasta 0,020 mg/L [54].

Además, los residuos peligrosos deben recibir un tratamiento previo o ser estabilizados antes de su disposición en rellenos sanitarios, con el fin de reducir o eliminar su peligrosidad y evitar la contaminación del ambiente, como se ha discutido en el apartado 2.5.2.1.

La viabilidad de esta alternativa como solución para la gestión de los CRT depende de la existencia de gestores que ofrezcan servicios de neutralización y tratamiento de estos residuos, o de la autorización del Ministerio de Salud para la construcción y operación de celdas de seguridad. Dado a que no existen celdas de seguridad ni tratamientos que garanticen la inocuidad de los CRT, se asume una baja recuperabilidad.

4.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO

En esta sección se presenta la evaluación de las alternativas de gestión de la sección anterior, utilizando criterios y subcriterios ambientales, sociales y de gobernanza. Los valores asignados a cada alternativa en función de estos subcriterios se determinaron a partir de investigaciones bibliográficas y entrevistas realizadas durante el estudio.

En la Tabla 4.1 se resume la información obtenida para cada alternativa de gestión mientras que en la Tabla 4.2 se observa las puntuaciones obtenidas en cada subcriterio.

Tabla 4.1. Resumen de información sobre las alternativas de gestión para vidrios CRT en Costa Rica

Alternativas de Gestión		Criterios y subcriterios de evaluación						Fuentes
Alternativa	Aplicación principal	Ambiental		Social		Gobernanza		
		Aprovechamiento de las propiedades de Pb	Recuperabilidad de aplicación	Lixiviación del Pb al suelo y el agua	Representatividad sectorial local	Accesibilidad de aplicación	Antecedentes de implementación	
		sí/no	alta/moderada/baja	mg Pb/L de agente de lixiviación	alta/moderada/baja	barreras técnicas/financieras/legales	sí/no	
Exportación de unidad CRT	N/A	no	Baja	18.5	moderada	financieras/legales	sí	[2],[16],[32]
Extracción del Pb	Baterías	sí	Alta	2500*	moderada	financieras/técnicas	sí	[1],[2],[16],[31],[33],[34]-[36]
Concreto	Construcción	no	Baja	1.42	baja	financieras/técnicas	sí	[2],[15],[38]-[40]
Vitrocerámicas	Vitrificación de residuos peligrosos	sí	Baja	N/I	baja	financiera/técnicas	no	[2],[15],[27],[32],[41]-[43]
Material cementante suplementario	Mortero (pavimentos)	no	Baja	0.78	baja	financiera/técnicas	no	[44]-[50]
Agente fundente	Producción de Cu	sí	Baja	0.01	baja	financieras	no	[2],[16],[26],[51],[L11]
Disposición en celdas de seguridad	N/A	no	Baja	0.22	baja	legales/financieras/técnicas	no	[1],[2],[L11],[52]-[54]

N/A: no aplica

N/I: no información disponible

*valor reportado en mg/kg

Tabla 4.2. Evaluación final de las alternativas de gestión para los vidrios CRT en Costa Rica

Alternativas de Gestión		Criterios de Evaluación						
Alternativa	Aplicación principal	Ambiental		Social		Gobernanza		Puntuación final
		Aprovechamiento de las propiedades de Pb	Recuperabilidad de aplicación	Lixiviación del Pb al suelo y el agua	Representatividad sectorial local	Accesibilidad de aplicación	Antecedentes de implementación	
		40%			20%		40%	
Exportación de unidad CRT	N/A	1	1	1	2	1	3	3.2
Extracción del Pb	Baterías	3	3	1	2	2	3	5.2
Concreto	Construcción	1	1	1	1	2	3	3.4
Vitrocerámicas	Vitrificación de residuos peligrosos	3	1	1	1	2	1	3.4
Material cementante suplementario	Mortero (pavimentos)	1	1	1	1	2	1	2.6
Agente fundente	Producción de Cu	3	1	3	1	2	1	4.2
Disposición en celdas de seguridad	N/A	1	1	1	1	1	1	2.2

Según el análisis realizado, la mejor alternativa para la gestión del vidrio CRT en Costa Rica es la extracción de Pb, ya que permite recuperar altos porcentajes de este metal, aunque su eficiencia dependerá del método empleado. El Pb extraído puede reutilizarse en la fabricación de baterías ácido-plomo. Sin embargo, es importante destacar que el Pb recuperado del vidrio CRT no alcanza los volúmenes que se obtiene directamente de las baterías de ácido-plomo. Por lo tanto, el objetivo no es reemplazar por completo la materia prima utilizada en la producción de baterías, sino complementar el proceso actual. Cabe destacar que en el país ya opera una empresa que extrae plomo de baterías de ácido-plomo para fabricar lingotes, los cuales se reutilizan en la producción de nuevas baterías. Además, la empresa entrevistada no descarta la posibilidad de evaluar la viabilidad de esta alternativa para la gestión de pantallas con CRT.

Como segunda alternativa con mayor puntuación, es utilizar el vidrio CRT como agente fundente. Por otro lado, las opciones de usar el vidrio para la producción de vitrocerámicas o concreto obtuvieron la misma puntuación. En la evaluación de las vitrocerámicas, se consideró la vitrificación de residuos peligrosos con el fin de aprovechar las propiedades del Pb. No obstante, esta práctica no es común y requiere de investigaciones sobre su factibilidad para residuos específicos. Además, esta opción ha sido rechazada como solución anteriormente, según lo comentado en una de las entrevistas realizadas a gestores de RAEE.

Dado a lo anterior, se considera que la tercera alternativa más viable es utilizar el vidrio CRT en la fabricación de concreto, a pesar de que no se aprovechan las propiedades del Pb. No obstante, en comparación con otras opciones que tampoco aprovechan las propiedades del Pb, esta alternativa presenta la ventaja de haber sido previamente estudiada en el país, lo que ofrece un potencial para continuar explorando su implementación como solución de gestión. Sin embargo, es importante abordar la limitante relacionada con la preferencia de la población por los materiales de construcción tradicionales. En este sentido, sería oportuno evaluar el uso de vidrio CRT como material cementante suplementario en morteros para pavimentos, ya que en esta aplicación dicha preferencia no sería un obstáculo significativo.

Es importante reiterar que, en 2021 el país generaba aproximadamente 859 toneladas de pantallas con CRT, equivalente a unas 28 634 unidades, lo que incluye tanto televisores como monitores [7]. Según las proyecciones de generación de RAEE en el país, y dado que la

tecnología CRT está en declive, la cantidad de estos residuos va disminuyendo progresivamente. Por ello, las propuestas presentadas van más allá de una factibilidad económica, buscan responder a una problemática ambiental y social a nivel nacional. Como se mencionó con la alternativa de extracción de Pb, el objetivo no es sustituir completamente la materia prima, sino integrar los residuos CRT en una cadena de valor, contribuyendo a su manejo responsable.

En la Tabla 4.2 se observa que las tres alternativas mencionadas superan en puntuación a la exportación de CRT, que es la forma actual de gestión de estos residuos. Esto evidencia que la exportación no es la solución más viable según los criterios evaluados, siendo incluso una de las opciones con menor puntuación.

5 CONCLUSIONES

Los residuos CRT son recolectados por los tres actores principales estudiados: gestores, Unidades de Cumplimiento y recuperadores de base. Los gestores son los principales recolectores, aunque algunos recuperadores de base pueden llegar a recolectar más de 20 unidades CRT al año. De los 22 gestores de RAEE encuestados, 6 actualmente reciben y gestionan residuos con CRT, mientras que, de las 13 Unidades de Cumplimiento encuestadas, solo 4 se encargan de la gestión de estos residuos. Además, de las 12 personas recuperadoras de base encuestadas, 9 recolectan residuos con CRT.

Actualmente, la principal alternativa de gestión integral de residuos con CRT en Costa Rica es la exportación, la cual es costosa, cerca de US\$500/ton. Esto provoca que la mayoría de los CRT generados se disponga por los generadores en sitios no autorizados o se entregue a los recolectores de base, cuyas prácticas de manejo en su mayoría se estiman que no son adecuadas y son ilegales. Por tanto, los volúmenes recolectados por gestores autorizados que los exportan son bajos y hace de esta alternativa menos viable por volumen, lo que lleva a los gestores a acumular estos residuos en sus instalaciones o, en algunos casos, a enviarlos a rellenos sanitarios, a pesar de estar prohibido. La gestión deficiente de residuos con CRT en el país se debe a su baja rentabilidad, altos costos, la falta de opciones locales y un conocimiento limitado sobre su tratamiento, lo que los hace pocos atractivos, incluso para los recuperadores de base. Este problema se ve agravado por el débil cumplimiento de la normativa, el desconocimiento de responsabilidades por parte de las Unidades de Cumplimiento y la falta de financiamiento adecuado a través del principio de REP, que es producto del bajo cumplimiento legal.

A pesar de las dificultades que presenta la gestión de los CRT, tanto las Unidades de Cumplimiento como los gestores encuestados y visitados, manifestaron interés en explorar nuevas alternativas de gestión para los residuos con CRT, con el fin de reducir los costos logísticos y aumentar las opciones disponibles en el país ante la urgencia de la problemática.

En este sentido, se evaluaron 7 alternativas de gestión, seleccionadas por ser las más comunes y alineadas con el alcance de la investigación. El análisis multicriterio realizado arrojó que las mejores alternativas son: la extracción de Pb, el uso de los residuos como agente fundente y la fabricación de concreto. Estas opciones no solo podrían ofrecer una solución a la

problemática de los CRT en Costa Rica, sino que también podrían posicionar al país como un innovador en la gestión de los residuos dentro de la región.

Por otro lado, las tres alternativas mencionadas superaron en puntuación a la exportación de residuos CRT, lo que confirma que esta última no es la opción más viable según los criterios evaluados en esta investigación.

6 RECOMENDACIONES

6.1 RECOMENDACIONES CON RESPECTO A LA GESTIÓN DE PANTALLAS Y MONITORES CON CRT

Se recomienda que los gestores de residuos de CRT se asocien para aumentar el volumen de recolección, lo que facilitaría su exportación ante el declive de estos residuos y los desafíos que presenta su gestión. Al unir esfuerzos, los gestores pueden superar las barreras logísticas y económicas que enfrentan al intentar manejar estos materiales de manera individual.

El Ministerio de Salud debe fiscalizar el cumplimiento de la REP y establecer metas claras de recolección para las Unidades de Cumplimiento. Estas metas permitirán monitorear de manera más efectiva el progreso en la gestión de residuos con CRT y promover la responsabilidad de las empresas involucradas.

Para asegurar una adecuada gestión de los residuos con CRT, es fundamental que los gestores soliciten los residuos separados y etiquetados para garantizar la trazabilidad de los residuos con CRT y asegurar una cuota específica, representativa y justa en su gestión.

Fortalecer las alianzas con la academia es clave para el desarrollo de soluciones innovadoras en la gestión de residuos con CRT. La colaboración con universidades y centros de investigación permitirá avanzar en la creación de tecnologías y métodos de gestión más efectivos, adaptados a las condiciones locales. De forma más concreta, se propone establecer un programa de investigación de aumento de agregación de valor de la gestión de RAEE en Costa Rica, empezando por realizar estudios de viabilidad de negocios, técnicos y económicos para desarrollar estas alternativas respecto a los CRT.

De igual manera, es importante desarrollar espacios de diálogo y colaboración que permitan comprender mejor las necesidades y condiciones del sector informal. Esto facilitará la identificación de soluciones coherentes y efectivas para apoyar la formalización del sector, lo que a su vez mejoraría las condiciones laborales y la seguridad de quienes participan en la recolección y manejo de residuos.

Una estrategia efectiva para prevenir el desensamble informal de residuos con CRT sería ofrecer a los recuperadores de base un pago mayor por aquellos residuos que no han sido desensamblados. Esto incentivaría la entrega de materiales a gestores legalmente registrados ante el Ministerio de Salud, asegurando un tratamiento más seguro y adecuado, tanto para el ambiente como para la salud de los trabajadores. Así como brindar capacitaciones a este sector, esto ayuda a la mayor recuperación de los CRT, que debe ser un objetivo país.

Para mejorar la coordinación con el sector informal, se recomienda crear y mantener actualizada una base de datos de recuperadores de base, con el objetivo de facilitar el contacto y fortalecer su integración en la cadena de gestión de residuos. Esta herramienta también ayudaría a mejorar la trazabilidad de los residuos recolectados.

Además, es necesario recopilar más información sobre los recuperadores de base, ya que representan un sector esencial en la gestión de residuos con CRT. Se sugiere establecer alianzas estratégicas que permitan obtener datos más completos y representativos de este grupo. Algunas preguntas que podrían guiar esta investigación incluyen: ¿Qué incentivos o mecanismos serían efectivos para integrar a los recuperadores de base en la GIRE sin desincentivar su participación ni percibirlo como una amenaza a su trabajo?, ¿Qué modelos de cooperación entre el sector formal e informal podrían implementarse para mejorar la trazabilidad de los residuos con CRT? y ¿Cuáles son los factores económicos y sociales que influyen en este sector para decidir desensamblar o no los residuos con CRT?

Estas y otras preguntas son esenciales para facilitar la inclusión del sector informal en futuras soluciones y decisiones en materia de gestión de residuos, garantizando una colaboración más efectiva y sostenible.

6.2 RECOMENDACIONES CON RESPECTO A LA METODOLOGÍA Y LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Se destaca la importancia de incorporar criterios económicos, sean cualitativos o cuantitativos, en futuras evaluaciones. Esto asegurará que las barreras financieras no limiten el cumplimiento legal en la gestión adecuada de los CRT.

Es fundamental realizar un análisis detallado de las tres mejores alternativas de gestión identificadas en la evaluación multicriterio. Este análisis debe incluir la consideración de otros factores clave, específicamente económicos, como los costos de inversión y operación, así como la viabilidad de incorporar el vidrio CRT en diversas cadenas de valor. De esta manera, se podrá seleccionar la opción más adecuada y sostenible para la realidad del país.

También se puede llevar a cabo grupos focales con actores clave en la GIRE para evaluar las alternativas de gestión que obtuvieron mayores puntuaciones en la evaluación multicriterio. Estos grupos facilitarán el intercambio de conocimientos y perspectivas, y permitirán una evaluación más colaborativa y exhaustiva de las posibles soluciones. Además, los grupos focales permitirán identificar con mayor precisión las barreras asociadas a cada alternativa, con un énfasis particular en aspectos financieros.

Finalmente, el volumen actual de residuos con CRT justifica el fortalecimiento del cumplimiento de la ley y la inversión o costos necesarios, pero la búsqueda de soluciones más eficientes y evaluar la problemática a nivel regional son muy importantes para avanzar en una solución efectiva. Un enfoque regional podría revelar un mayor potencial de gestión conjunta, posicionando al país como un ejemplo de innovación en la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en América Latina, similar a como ha ocurrido con la solución de baterías de ácido plomo y baterías de litio.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Q. Xu, G. Li, W. He, J. Huang, y X. Shi, “Cathode ray tube (CRT) recycling: Current capabilities in China and research progress”, *Waste Management*, vol. 32, núm. 8, pp. 1566–1574, abr. 2012, doi: 10.1016/j.wasman.2012.03.009.
- [2] E. Restrepo, R. Widmer, M. Schluep, y H. Guilcher, “Open Loop Recycling and Disposal Options for Leaded Glass from Cathode Ray Tubes”.
- [3] D. Ott, C. A. Hernández, y N. Lora, “Movimientos Transfronterizos de RAEE en América Latina”, 2022.
- [4] M. E. Venegas, A. R. Navarro, y E. P. Alfaro, “Modelo procedimental para la caracterización y valoración de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, RAEE”, *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, núm. 87, 2020, doi: 10.18682/cdc.vi87.3771.
- [5] L. Rodríguez y N. González, “Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque de dinámica de sistemas”, *Sistemas & Telemática*, vol. 11, 2013.
- [6] M. Wagner, C. P. Baldé, V. Luda, I. C. Nnorom, R. Kuehr, y G. Iattoni, “Monitoreo regional de los residuos electrónicos para América Latina, resultados de los trece países participantes en el proyecto UNIDO-GEF 5554”, 2022.
- [7] Ministerio de Salud, “CRI_E-waste_generated_Tool_13.12.2022”, el 13 de diciembre de 2022.
- [8] Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), “Waste from electrical and electronic equipment - Costa Rica”. Consultado: el 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=EWASTE>
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), “Estimaciones y Proyecciones de población”, el 19 de julio de 2018. Consultado: el 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://inec.cr/es/tematicas/listado?topics=91%252C646>

- [10] A. Orozco, V. Castro, y L. Castro, “La Memoria de las Jornadas de Investigación y Análisis ‘Gestión de Residuos eléctricos y electrónicos: desafíos en la era de la transformación digital’”, San José, ago. 2021.
- [11] GlobalRec, “Marlén Chacón: «Actualmente la mayor amenaza en Costa Rica es la incineración»”, el 28 de septiembre de 2016. Consultado: el 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://globalrec.org/es/2016/09/28/marlen-chacon-actualmente-la-mayor-amenaza-en-costa-rica-es-la-incineracion/>
- [12] Latitud R: Reciclaje Inclusivo hacia una Economía Circular, “Desafíos y riesgos de los recicladores de base en Costa Rica”, el 25 de marzo de 2022. Consultado: el 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://latitudr.org/desafios-y-riesgos-de-los-recicladores-de-base-en-costa-rica/#:~:text=Con%20la%20informaci%C3%B3n%20recopilada%20sobre%20las%20y%20los%20recicladores>
- [13] N. Menad, “Cathode ray tube recycling”, *Resources Conservation Recycling*, vol. 26, pp. 143–154, 1999.
- [14] N. Williams, “Evaluación de la adición de vidrio del panel frontal de tubos de rayos catódicos en la elaboración de concreto”, Universidad de Costa Rica, San José, 2010.
- [15] Industry Council for Electronic Equipment Recycling, “Materials Recovery from Waste Cathode Ray Tubes (CRTs)”, UK, 2004.
- [16] H. Gao, Y. Yang, Q. Huang, y Q. Wang, “Pb-Laden CRT glass as classifying hazardous waste definition or exemption in landfill disposal in China”, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 19, núm. 1, pp. 241–246, ene. 2017, doi: 10.1007/s10163-015-0411-x.
- [17] Ministerio de Salud, “Mapa de Puntos de Recolección y Recepción de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos”. Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://oges.ministeriodesalud.go.cr/visores/catalogo/recoleccion/recoleccion.html>

- [18] Ministerio de Salud, “Registro de Gestores y Unidades de Cumplimiento”. Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/tramites/empresas/28-tramites/registros/113-registro-de-gestores-en-salud>
- [19] L. Abarca, F. Roa, y V. Rudín, “WEEE resource management system in Costa Rica”, *Resources*, vol. 7, núm. 1, mar. 2018, doi: 10.3390/resources7010002.
- [20] Convenio de Basilea, “National Reporting (Reporte nacional).”
- [21] M. Chen, F. S. Zhang, y J. Zhu, “Lead recovery and the feasibility of foam glass production from funnel glass of dismantled cathode ray tube through pyrovacuum process”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 161, núm. 2–3, pp. 1109–1113, ene. 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.084.
- [22] P. G. Yot y F. O. Méar, “Lead extraction from waste funnel cathode-ray tubes glasses by reaction with silicon carbide and titanium nitride”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 172, núm. 1, pp. 117–123, dic. 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.137.
- [23] X. Lu, K. Shih, C. Liu, y F. Wang, “Extraction of metallic lead from cathode ray tube (CRT) funnel glass by thermal reduction with metallic iron”, *Environmental, Science and Technology*, vol. 47, núm. 17, pp. 9972–9978, sep. 2013, doi: 10.1021/es401674d.
- [24] W. Yuan, J. Li, Q. Zhang, F. Saito, y B. Yang, “Lead recovery from cathode ray tube funnel glass with mechanical activation”, *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 63, núm. 1, pp. 2–10, 2013, doi: 10.1080/10962247.2012.711796.
- [25] C. Zhang, J. Wang, J. Bai, J. Guan, W. Wu, y C. Guo, “Recovering lead from cathode ray tube funnel glass by mechano-chemical extraction in alkaline solution”, *Waste Management and Research*, vol. 31, núm. 7, pp. 759–763, jul. 2013, doi: 10.1177/0734242X13484188.
- [26] S. Mostaghel, Q. Yang, y C. Samuelsson, “Recycling of cathode ray tube in metallurgical processes: Influence on environmental properties of the slag”, *Global Journal*

of environmental Science and Technology, vol. 1, pp. 1–19, 2011, [En línea]. Disponible en: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:972342/FULLTEXT01.pdf>

[27] M. Tossavainen, F. Engstrom, Q. Yang, N. Menad, M. Lidstrom Larsson, y B. Bjorkman, “Characteristics of steel slag under different cooling conditions”, *Waste Management*, vol. 27, núm. 10, pp. 1335–1344, 2007, doi: 10.1016/j.wasman.2006.08.002.

[28] C. A. Vega, “Evaluación de la calidad del agua y sedimento de la subcuenca del río Birris, en cuanto a su contenido de metales pesados”, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2021.

[29] J. Estupiñán, N. Batista, R. Torres, A. Toapanta, y F. Oviedo, “La perspectiva ambiental en el desarrollo local”, *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, pp. 1–23, 2017.

[30] L. Mercado y D. Rivera, “Guía Paso a Paso para Facilitar la Transición hacia una Economía Circular desde los Gobiernos Locales Caso de Costa Rica”, Turrialba, Costa Rica, 2021.

[31] Cooperativa Planeta Verde, “Martha Elena Iglesias habló en la OIT sobre la violencia y el acoso a los recicladores”, International Alliance of Waste Pickers. Consultado: el 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://globalrec.org/es/2018/06/06/martha-elena-iglesias-hablo-en-la-oit-sobre-la-violencia-y-el-acoso-a-los-recicladores/>

[32] S. E. Musson, Y. C. Jang, T. G. Townsend, y I. H. Chung, “Characterization of lead leachability from cathode ray tubes using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure”, *Environ Sci Technol*, vol. 34, núm. 20, pp. 4376–4381, oct. 2000, doi: 10.1021/es0009020.

[33] A. Davidson et al., “Lead”, en *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2014, pp. 1–55. doi: 10.1002/14356007.a15_193.pub3.

[34] N. R. Rojas, L. Echeverry, y S. Sierra, “Thermo-kinetics of lead leaching from recycled batteries”, *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 36, núm. 1, pp. 155–171, ene. 2018, doi: 10.14482/inde.36.1.10944.

- [35] P. M. Arellano, V. H. Gutiérrez, S. L. Olvera, M. Flores, A. Cruz, y R. Sánchez, “Reducción de plomo contenido en pasta de baterías Pb-ácido empleando NaHCO_3 y SiC como agentes reductores”, *GEOMET*, pp. 12–14, 2022.
- [36] Á. Imre-Lucaci, M. Fogarasi, F. Imre-Lucaci, y S. Fogarasi, “Chemical-electrochemical process concept for lead recovery from waste cathode ray tube glass”, *Materials*, vol. 14, núm. 6, mar. 2021, doi: 10.3390/ma14061546.
- [37] Organización Mundial de la Salud (OMS), “Reciclaje baterías de plomo-ácido usadas: consideraciones sanitarias”, Ginebra, 2017.
- [38] D. Romero, J. James, R. Mora, y C. D. Hays, “Study on the mechanical and environmental properties of concrete containing cathode ray tube glass aggregate”, *Waste Management*, vol. 33, núm. 7, pp. 1659–1666, jul. 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2013.03.018.
- [39] T. C. Ling y C. S. Poon, “Use of recycled CRT funnel glass as fine aggregate in dry-mixed concrete paving blocks”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 68, pp. 209–215, apr. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.084.
- [40] L. Abarca, Ir. F. M. Scheublin, y H. Van Twillert, “Assessment of construction waste management practice: a case study in Costa Rica”, *Linnaeus Eco-Tech*, pp. 85–95, nov. 2007, doi: 10.15626/Eco-Tech.2007.007.
- [41] D. M. Ayala, “Diseño de prototipos de vitro-cerámicos, a partir de la reutilización de escoria, cenizas volantes de carbón y casco de vidrio, generadas en los procesos industriales del Departamento de Boyacá”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, 2019. Consultado: el 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3690/Dise%c3%b1o_prototipos_vitro-ceramicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [42] Michael. I. Ojovan y O. G. Batyukhnova, “Glasses for Nuclear Waste Immobilization”, en *WM’07 Conference*, Tucson, AZ, 2007.

- [43] D. H. Vu, K. S. Wang, J. H. Chen, B. X. Nam, y B. H. Bac, “Glass-ceramic from mixtures of bottom ash and fly ash”, *Waste Management*, vol. 32, núm. 12, pp. 2306–2314, dic. 2012, doi: 10.1016/j.wasman.2012.05.040.
- [44] H. Zhao y C.-S. Poon, “Recycle of large amount cathode ray tube funnel glass sand to mortar with supplementary cementitious materials”, *Construction and Building Materials*, vol. 308, p. 124953, sep. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124953.
- [45] Z. Hui, C. S. Poon, y T. C. Ling, “Properties of mortar prepared with recycled cathode ray tube funnel glass sand at different mineral admixture”, *Construction and Building Materials*, vol. 40, pp. 951–960, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.102.
- [46] W.-J. Long, Y. Gu, F. Xing, y K. H. Khayat, “Evaluation of the inhibiting effect of graphene oxide on lead leaching from waste cathode-ray tube glass incorporated in cement mortar”, *Cement and Concrete Composites*, vol. 104, p. 103337, may. 2019, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2019.103337.
- [47] T. L. Yannick, L. L. Arnold, T. D. Japhet, M. N. L. Leroy, T. A. Bruno, y N. Ismaïla, “Properties of eco-friendly cement mortar designed with grounded lead glass used as supplementary cementitious material”, *Heliyon*, vol. 9, p. e17536, jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17536>.
- [48] Holcim, “ECOPact Hydromedia TránsitoRodado”, enero de 2023. [En línea]. Disponible en: www.holcim.es
- [49] Holcim, “ECOPact Hydromedia Peatonal”, enero de 2023. [En línea]. Disponible en: www.holcim.es
- [50] Holcim, “CEMENTO FUERTE ECOPlanet Cemento Hidráulico para Construcción General”. [En línea]. Disponible en: https://www.holcim.cr/sites/costarica/files/2022-08/ficha_cemento_fuerte.pdf
- [51] J. Cui y L. Zhang, “Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 158, núm. 2–3, pp. 228–256, oct. 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.02.001.

- [52] G. de A. Nascimento, R. G. de Souza, F. A. Fiore, y A. M. Dantas de Jesus, “Leachate analysis of trace metals from e-waste disposed of in landfills and open dumps”, *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 21, ago. 2024, doi: 10.1016/j.clet.2024.100771.
- [53] L. Paulo et al., “Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras”, 2009.
- [54] R. Keyikoglu, O. Karatas, H. Rezaia, M. Kobya, V. Vatanpour, y A. Khataee, “A review on treatment of membrane concentrates generated from landfill leachate treatment processes”, *Separation and Purification Technology*, vol. 259, mar. 2021, doi: 10.1016/j.seppur.2020.118182.

ANEXO LEGISLATIVO

[L1] Ministerio de Salud y Proyecto PREAL-Costa Rica, *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2023-2033 y Plan Nacional para la gestión Integral de residuos 2023-2028*. Costa Rica, 2023, pp. 1–240.

[L2] Ministerio de Salud, *Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos N.º 35933-*. 2010. [En línea]. Disponible en: [Sistema Costarricense de Información Jurídica \(pgrweb.go.cr\)](http://pgrweb.go.cr/Sistema%20Costarricense%20de%20Informaci3n%20Jur3dica)

[L3] Ministerio de Salud, *Ley para la Gestión Integral de Residuos N.º 8839*. 2010. [En línea]. Disponible en: [Sistema Costarricense de Información Jurídica \(pgrweb.go.cr\)](http://pgrweb.go.cr/Sistema%20Costarricense%20de%20Informaci3n%20Jur3dica)

[L4] Convenio de Basilea, *Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. 2019.

[L5] Comité Ejecutivo para la Gestión Integral de Residuos Electrónicos (CEGIRE), *Guía Técnica para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos y Eléctricos N.º DM-CB-8016-2016*. 2016.

[L6] Ministerio de Salud, *Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) 2016-2021*. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/ministerio-de-salud/planes-y-politicas-institucionales/planes-institucionales/estrategias-planes-institucionales/729-estrategia-nacional-de-reciclaje-2016-2021/file>

[L7] MINAE, *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales N.º 33903-MINAE-S*, 2007. [En línea]. Disponible en: [Legislación vigente | Digeca | Dirección de Gestión de Calidad Ambiental](#)

[L8] MINAE, *Reglamento para la calidad del agua potable N.º 38924-MINAE-S*, 2015. [En línea]. Disponible en: [Sistema Costarricense de Información Jurídica \(pgrweb.go.cr\)](http://pgrweb.go.cr/Sistema%20Costarricense%20de%20Informaci3n%20Jur3dica)

[L9] DEC, “Assessment levels for Soil, Sediment and Water”, feb. 2010. [En línea]. Disponible en: www.esdat.net

[L10] State of Netherlands, “Soil Quality Regulation first Notification”, 2007. Consultado: el 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and/soil-quality-decree/>

[L11] Ministerio de Salud, *Reglamento sobre Rellenos Sanitarios N.º 38928-S*, 2015. [En línea]. Disponible en: [Sistema Costarricense de Información Jurídica \(pgrweb.go.cr\)](http://sistema.costarricense.de.informacion.juridica.pgrweb.go.cr)

APÉNDICES

APÉNDICE 1. Instrumento de encuesta para gestores con el fin de determinar la gestión de CRT

Encuesta a Gestores de RAEE

Desde la carrera de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Costa Rica y en colaboración con el Proyecto de Residuos Electrónicos para América Latina (PREAL), ejecutado por el Ministerio de Salud, se ha planteado el proyecto de investigación titulado *"Propuesta de alternativas para la gestión de residuos de pantallas de tubos de rayos catódicos (CRT)"*. Estas pantallas son televisores y monitores de los pesados, anteriores, grandes y conocidos como de "cajón".

La presente encuesta forma parte de los objetivos planteados en el proyecto, la cual tiene como fin obtener información sobre el procedimiento actual en la gestión de estos residuos con CRT, así como otra información relevante asociada al alcance del proyecto. Estos son Residuos de Aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

En la búsqueda de soluciones eficientes para el desafío que representan los residuos con CRT agradecemos profundamente su participación en este proyecto y alta transparencia. Estos residuos con CRT tienen un alto contenido de plomo, perjudicial para nuestra salud y todavía en el país hoy se generan al año aproximadamente **859 toneladas**, lo que equivale a **28 634 unidades**.

La encuesta no tardará más de 15 minutos en completarse.

En caso de dudas o sugerencias puede contactar a Allison Sabrina Galagarza Muñoz a través del siguiente correo: agalagarza@estudiantec.cr

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Nombre del Gestor

2. Puesto de quién responde la encuesta *

3. Provincia donde se ubican *

Marca solo un óvalo.

- ☐ San José
☐ Alajuela
☐ Cartago
☐ Heredia
☐ Guanacaste
☐ Puntarenas
☐ Limón

4. Indique la procedencia de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) que reciben *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Unidades de cumplimiento o importadores-productores
☐ Campañas de recolección incluyendo campañas municipales
☐ Empresas o entidades generadoras que lo traen a sus instalaciones
☐ De recuperadores de base
☐ Recolección propia puerta a puerta
☐ Otro: _____

5. En caso de que la procedencia de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) sea Unidades de Cumplimiento, favor indicar cuáles son a las que le brindan servicio

6. A partir de las siguientes categorías de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) ¿Cuáles son las tres categorías que reciben mayormente? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Aparatos de intercambio de temperatura (refrigeradores, congeladores, aire acondicionado, bombas de calor)
- ☐ Pantallas y monitores (televisores, monitores, computadoras portátiles, tabletas electrónicas)
- ☐ Lámparas (lámparas LED, fluorescentes compactas, de tubo recto)
- ☐ Grandes aparatos (lavaplatos, lavadoras, hornos, hornos, sistemas de calefacción central, impresoras profesionales, paneles fotovoltaicos)
- ☐ Pequeños aparatos (microondas, parrillas, tostadoras, cámaras, equipos de audios, auriculares, etc.)
- ☐ Pequeños aparatos informáticos y de telecomunicaciones (computadoras de mesa personales, impresoras, celulares, teléfonos inalámbricos, teclados, consolas)

7. ¿Reciben el yugo de los televisores y/o monitores con CRT? *



Marca solo un óvalo.

- ☐ Si
- ☐ No

8. ¿Han recibido o reciben y gestionan televisores y/o monitores con CRT? *



Marca solo un óvalo.

- ☐ Actualmente recibimos *Salta a la pregunta 10*
☐ En algún momento recibimos, pero ahora no *Salta a la pregunta 9*
☐ Nunca hemos recibido y gestionado *Salta a la pregunta 9*

9. ¿Cuáles son las razones por las que no reciben televisores y/o monitores con CRT? Puede marcar varias *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Desconocimiento de cómo gestionarlos
☐ Altos costos asociados a las alternativas de gestión y disposición que los generadores o unidades de cumplimiento no pagan
☐ Complejidad de gestión integral
☐ No es negocio
☐ Volumen no atractivo
☐ Falta de opciones locales de disposición
☐ Baja valorización respecto a costos
☐ No se financia la gestión de estos RAEE
☐ Falta de contactos internacionales para tratamiento
☐ Otro: _____

Salta a la pregunta 24

10. ¿Cuál es la cantidad promedio y aproximada de televisores y/o monitores con CRT que reciben o han recibido en un mes? *

Puede indicar el peso de estos residuos (preferiblemente en toneladas o kilogramos) o bien las unidades que reciben o han recibido (ejemplo: 10 televisores con CRT)

11. ¿Cómo se gestionan actualmente los residuos con CRT y sus fracciones peligrosas por parte de ustedes? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Envío a rellenos sanitarios
☐ Entrega a otros gestores autorizados
☐ Se almacenan
☐ Se exportan
☐ Otro: _____

12. En caso de entregar los residuos a otros gestores, favor indicar cómo se gestionan. Si desconoce la gestión que realizan por favor indicar "No sé" *

13. ¿Actualmente exporta o han exportado CRT y/o vidrios CRT? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí Salta a la pregunta 14
☐ No Salta a la pregunta 22

Exportación CRT

14. ¿Cuántas exportaciones de estos residuos han realizado en los últimos 5 años? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ 1-10
☐ 10-20
☐ Más de 20
☐ Ninguna

15. ¿Cuántos kg de residuos con CRT y/o vidrios CRT exportó **la última vez**? *

Por favor indicar la unidad de medida en caso de utilizar una diferente a kilogramos (kg)

16. ¿Se ha asociado con otro gestor para la gestión y exportación? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí
☐ No

17. ¿Cuál es la disposición final/uso de estos residuos en el país de exportación? *

(rellenos de seguridad, recicladoras, elaboración de bloques, etc).

En caso de tener el nombre de la empresa quien recibe en el extranjero indicarlo. Si desconoce la disposición final o el uso de estos residuos por favor indicar "No sé"

18. ¿Por cuáles motivos exportan o exportaron residuos con CRT/vidrios CRT? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Mejores precios
- ☐ Falta de alternativas de gestión, tratamiento y disposición, y procesos autorizados locales
- ☐ Garantía en la trazabilidad
- ☐ Desensamblaje más detallado fuera del país
- ☐ Exigencia del estándar del cliente
- ☐ Práctica aceptada por los estándares de mi empresa
- ☐ Otro: _____

19. ¿Cuál es el precio aproximado (puede ser un rango de precios) de gestión integral de estos residuos?

El precio asociado desde la recolección hasta la disposición final, incluyendo trámites del proceso

20. ¿Están interesados en buscar alternativas adicionales de gestión locales para los * residuos con CRT en Costa Rica?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí
- ☐ No

21. Si la respuesta a la pregunta anterior es "Sí", indicar por qué *

Salta a la pregunta 24

NO exportación CRT

22. ¿Cuáles son las principales razones de no exportar residuos con CRT/vidrios CRT? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Falta de suficiente material para exportar
☐ Complejidad del trámite de exportación o norma de difícil cumplimiento
☐ Costos asociados al proceso
☐ Plazos de espera del permiso de exportación
☐ Claridad en el proceso
☐ Otro: _____

23. ¿Cuál es el precio aproximado (puede ser un rango de precios) de gestión integral de estos residuos?

El precio asociado desde la recolección hasta la disposición final

24. ¿Conoce alternativas de gestión para los residuos con CRT, si es así cuál alternativa consideran que debería de autorizarse o valorarse en Costa Rica? *

25. ¿Que desafíos en general presentan como gestores de RAEE? Puede marcar varias opciones *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Falta de alternativas de gestión, tratamiento y disposición, y procesos autorizados locales
- ☐ Falta de financiamiento suficiente por parte de la Responsabilidad Extendida
- ☐ Costos asociados a la gestión de los RAEE
- ☐ Limitaciones en la infraestructura
- ☐ Competencia entre los sectores formal e informal por los componentes valiosos de los RAEE
- ☐ Aumento de los volúmenes de RAEE
- ☐ Falta de apoyo de las Municipalidades y otras alianzas
- ☐ Bajos volúmenes de RAEE, economía de escala
- ☐ Falta de sensibilidad de la población en general
- ☐ Otro: _____

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

APÉNDICE 2. Instrumento de encuesta para Unidades de Cumplimiento con el fin de determinar la gestión de CRT

Encuesta a Unidades de cumplimiento y Productores-Importadores

Desde la carrera de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Costa Rica y en colaboración con el Proyecto de Residuos Electrónicos para América Latina (PREAL), ejecutado por el Ministerio de Salud, se ha planteado el proyecto de investigación titulado *"Propuesta de alternativas para la gestión de residuos de pantallas de tubos de rayos catódicos (CRT)"*. Estas pantallas son televisores y monitores de los pesados, anteriores, grandes y conocidos como de "cajón".

La presente encuesta forma parte de los objetivos planteados en el proyecto, la cual tiene como fin obtener información sobre el procedimiento actual en la gestión de estos residuos con CRT, así como otra información relevante asociada al alcance del proyecto. Estos son Residuos de Aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

En la búsqueda de soluciones eficientes para el desafío que representan los residuos con CRT agradecemos profundamente su participación en este proyecto y alta transparencia. Estos residuos con CRT tienen un alto contenido de plomo, perjudicial para nuestra salud y todavía en el país hoy se generan al año aproximadamente **859 toneladas**, lo que equivale a **28 634 unidades**.

La encuesta no tardará más de 15 minutos en completarse.

En caso de dudas o sugerencias puede contactar a Allison Sabrina Galagarza Muñoz a través del siguiente correo: agalagarza@estudiantec.cr

* Indica que la pregunta es obligatoria

Este es un tipo de monitor CRT o un televisor CRT



1. Nombre de la unidad de cumplimiento

2. Puesto de quién responde la encuesta *

3. ¿Conoce usted que su representada es una Unidad de Cumplimiento de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) legalmente registrada en el Ministerio de Salud?

Marca solo un óvalo.

☐ Sí

☐ No

4. ¿Comprende usted que implica el ser una Unidad de Cumplimiento para importadores y productores de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE)?

Marca solo un óvalo.

☐ Sí

☐ No

5. Si su respuesta es SI, ¿favor explicar brevemente que entiende usted como implicación, el rol y responsabilidad principal para una Unidad de Cumplimiento?

6. Alguno de los importadores y productores de AEE que afilia su Unidad de Cumplimiento o usted, puso en el pasado o pone en el mercado pantallas y monitores (televisores, monitores) *

Marca solo un óvalo.

☐ Sí

☐ No

7. ¿Cuál es la cantidad de empresas filiadas a la unidad de cumplimiento?

8. ¿Su Unidad de Cumplimiento o sus afiliadas recolectan Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí Salta a la pregunta 9
- ☐ No

9. A partir de las siguientes categorías de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) ¿Cuáles son las tres categorías de residuos que recolectan mayormente? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Aparatos de intercambio de temperatura (refrigeradores, congeladores, aire acondicionado, bombas de calor)
- ☐ Pantallas y monitores (televisores, monitores, computadoras portátiles, tabletas electrónicas)
- ☐ Lámparas (lámparas LED, fluorescentes compactas, de tubo recto)
- ☐ Grandes aparatos (lavaplatos, lavadoras, hornos, sistemas de calefacción central, impresoras profesionales, paneles fotovoltaicos)
- ☐ Pequeños aparatos (microondas, parrillas, tostadoras, cámaras, equipos de audios, auriculares, etc.)
- ☐ Pequeños aparatos informáticos y de telecomunicaciones (computadoras de mesa personales, impresoras, celulares, teléfonos inalámbricos, teclados, consolas)

10. Seleccione la vía en la que recolectan (RAEE). Puede marcar varias *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Puntos en mis propias instalaciones
- ☐ Puntos en otras instalaciones de distribuidores o comercializadores
- ☐ Campañas de recolección
- ☐ Puerta a puerta a clientes
- ☐ Con Municipalidades
- ☐ Con gestores
- ☐ Otro: _____

11. ¿En algún momento usted o sus afiliadas ha comercializado pantallas, televisores o monitores con CRT? *

Si la respuesta es NO, favor no responder la siguiente pregunta.

Marca solo un óvalo.

☐ Sí

☐ No

12. ¿Cuándo dejaron de comercializar pantallas, televisores o monitores con CRT?

En caso de responder "Sí" a la pregunta anterior, contestar esta pregunta

13. ¿Han recolectado o recolectan y gestionan televisores y/o monitores con CRT? *

Marca solo un óvalo.

☐ Actualmente recolectamos *Salta a la pregunta 15*

☐ En algún momento recolectamos pero ahora no *Salta a la pregunta 14*

☐ Nunca hemos recolectado y gestionado *Salta a la pregunta 14*

14. ¿Cuáles son las razones por las que no recolectan o dejaron de recolectar televisores y/o monitores con CRT? Puede marcar varias *

Selecciona todos los que correspondan.

☐ No es parte de los productos comercializados por nosotros o las afiliadas

☐ Costos percibidos altos asociados a la gestión

☐ Ausencia de gestores y falta de alternativas de gestión para los residuos con CRT

☐ Otro: _____

15. ¿Cuál es la cantidad promedio y aproximada de televisores o monitores con CRT *
que recolectan o han recolectado en un mes?

Puede indicar el peso de estos residuos (preferiblemente en toneladas o kilogramos) o bien las unidades que recolectan o han recolectado (ejemplo: 10 televisores con CRT)

16. ¿Qué gestores les han gestionado o gestionan los residuos de TV y monitores con CRT? *

17. ¿Conoce cómo se gestionan los residuos con CRT por parte de ustedes y los gestores que contrata? (exportación, envío a rellenos de seguridad, etc..) *

En caso de desconocer cómo se gestionan indicar "No sé"

18. ¿Cuál es el precio aproximado que conoce para la recolección y gestión integral de estos residuos? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ 300 USD \$/ton - 350 USD \$/ton
- ☐ 400 USD \$/ton - 450 USD \$/ton
- ☐ 500 USD \$/ton - 550 USD \$/ton
- ☐ Otro: _____

19. ¿Tienen metas de recolección en la categoría de residuos de pantallas y monitores? *

Si la respuesta es NO, favor no responder la siguiente pregunta.

Marca solo un óvalo.

- ☐ No
- ☐ Sí

20. ¿Cuáles son las metas o las técnicas-métodos que se estarán utilizando para alcanzarlas?

Si cuenta con alguna meta específica en la recolección de residuos con CRT por favor indicarla

21. ¿Están interesados en buscar alternativas adicionales de gestión para los residuos con CRT en Costa Rica? *

Marca solo un óvalo.

☐ Sí

☐ No

22. En caso de responder "Sí" a la pregunta anterior, favor indicar las razones

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

APÉNDICE 3. Instrumento de encuesta para recuperadores de base con el fin de determinar la gestión de CRT

Encuesta a Recicladores de base

Desde la carrera de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Costa Rica y en colaboración con el Proyecto de Residuos Electrónicos para América Latina (PREAL), ejecutado por el Ministerio de Salud, se ha planteado el proyecto de investigación titulado *"Propuesta de alternativas para la gestión de residuos de pantallas de tubos de rayos catódicos (CRT)"*. Estas pantallas son televisores y monitores de los pesados, anteriores, grandes y conocidos como de "cajón".

La presente encuesta forma parte de los objetivos planteados en el proyecto, la cual tiene como fin obtener información sobre el procedimiento actual en la gestión de estos residuos con CRT, así como otra información relevante asociada al alcance del proyecto. Estos son Residuos de Aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Favor considerar que cuando se menciona la palabra "residuos" se hace referencia a lo que se conoce coloquialmente como "basura".

En la búsqueda de soluciones eficientes para el desafío que representan los residuos con CRT agradecemos profundamente su participación en este proyecto y alta transparencia. Estos residuos con CRT tienen compuestos contaminantes dañinos para nuestra salud y el ambiente.

La encuesta no tardará más de 10 minutos en completarse. En caso de dudas o sugerencias puede contactar a Allison Sabrina Galagarza Muñoz a través del siguiente correo: agalagarza@estudiantec.cr

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Nombre/Apodo (Opcional)

2. Coloque algún medio de contacto (celular, correo) (Opcional)

3. Usted se identifica como *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Mujer
- ☐ Hombre
- ☐ Prefiero no decirlo
- ☐ Otro: _____

4. Edad *

5. Provincia donde trabaja (puede marcar varias) *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ San José
- ☐ Heredia
- ☐ Cartago
- ☐ Alajuela
- ☐ Guanacaste
- ☐ Puntarenas
- ☐ Limón

6. Nombre del lugar específico donde trabaja usualmente *

7. ¿Trabaja para chatarrerías/recicladoras/centros de acopio/gestores? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí
☐ No
☐ Ocasionalmente

8. ¿Cuál es el nombre de la chatarrera/recicladora/centro de acopio/gestor? (Opcional)

9. ¿Trabaja en equipo con una o más personas? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Solo (a)
☐ Con más personas sin estar en una organización
☐ Formo parte de una organización

10. ¿Qué funciones realiza en su trabajo?. Puede marcar varias *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Recoger/recolectar residuos
☐ Almacenar residuos
☐ Vender partes o residuos con valor económico
☐ Desarmar residuos (desensamble)
☐ Otro: _____

11. ¿Con qué residuos trabaja principalmente? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Latas y latón (latas de atún, aerosoles, etc)
- ☐ Plástico, papel, cartón,
- ☐ Vidrio
- ☐ Chatarra
- ☐ Electrónicos (microondas, lavadoras, refrigeradoras, televisores, celulares, tabletas electrónicas, computadoras portátiles)
- ☐ Baterías de pila, carro o celulares
- ☐ Otro: _____

12. ¿Dónde suele recoger los residuos? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Calles
- ☐ Vertederos o lotes baldíos
- ☐ En la casa de las personas
- ☐ No suelo recoger, soy comerciante
- ☐ Otro: _____

13. ¿Cuál transporte utiliza para recoger los residuos? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Bicicleta
- ☐ A pie
- ☐ Carretillo
- ☐ Carreta
- ☐ Carro
- ☐ Coche para bebés
- ☐ No aplica (comerciante)
- ☐ Otro: _____

14. ¿Utiliza equipos de protección para realizar su trabajo? *

Equipos de protección tales como los guantes, lentes, casco, ropa, entre otros que evitan riesgos que atenten contra su salud, integridad y seguridad.

Marca solo un óvalo.

☐ Sí

☐ No

15. Mencione que equipos de protección utiliza

16. ¿Recoge o recibe televisores/monitores de cajón? *



Marca solo un óvalo.

☐ Sí Salta a la pregunta 17

☐ No Salta a la pregunta 21

17. ¿Cuántos televisores/monitores aproximadamente recoge o recibe al año? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ 1-5
☐ 5-10
☐ 10-20
☐ Más de 20

18. ¿Qué hace con los televisores o monitores de cajón y cuáles piezas son de su interés? ¿Qué hace con las piezas que no le interesan? *

Indicar si los desensambla (desarmar), a quién entrega las piezas o el televisor entero

19. ¿Cuánto le pagan por el televisor entero o las piezas que extrae del TV? *

Indicar si es por el TV entero o por las piezas que extrae

20. ¿A dónde suele recoger los televisores o monitores de cajón? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Calles
☐ Lotes baldíos
☐ Casas/bodegas
☐ Vertederos
☐ Soy comerciante (las persona lo traen)
☐ Otro: _____

Salta a la pregunta 22

21. ¿Cuáles son los motivos de no recoger o recibir televisores/monitores de cajón? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ No se encuentran
- ☐ Difíciles de desarmar, transportar o almacenar
- ☐ No tienen partes valiosas
- ☐ No los reciben las recicladoras/centros de acopio/chatarreras/gestores
- ☐ Otro: _____

Salta a la pregunta 22

22. ¿Conoce sobre los riesgos a la salud y al ambiente que causan los televisores o monitores de "cajón"? *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí
- ☐ No

23. En caso de responder "Sí" a la pregunta anterior, favor mencionar brevemente que riesgos conoce

24. ¿Qué es lo más difícil de su trabajo? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Riesgos en la salud
- ☐ Desprecio de las personas
- ☐ Poco apoyo del Gobierno
- ☐ Falta de equipos e infraestructura para realizar su trabajo
- ☐ Falta de espacio para almacenar y/o transportar residuos
- ☐ Precios bajos por su trabajo
- ☐ Ya no se recolectan tantos residuos
- ☐ Otro: _____

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

APÉNDICE 4. Oficio MS-DPRSA-0687-2023 para la obtención de información de gestores de RAEE y Unidades de Cumplimiento



MS-DPRSA-0687-2023
15 de agosto de 2023

Señores(as)

Asunto: Solicitud para completar encuesta sobre RAEE

Estimado señor (a),

Reciba un cordial saludo.

Le solicitamos apoyar al país con completar la encuesta que se solicita en el correo que incluye este oficio.

Las pantallas, televisores y monitores CRT (tecnología de tubos de rayos catódicos por sus siglas en inglés) son las pantallas pesadas, anteriores, grandes y conocidos como de “cajón”.

Estos aparatos, tienen un alto contenido de plomo en el interior del tubo, y cuando se convierten en residuos son de riesgo perjudicial para nuestra salud. Todavía en el país se estima que se generan al año aproximadamente 859 toneladas, lo que equivale a unas 28,634 unidades.

El Ministerio de Salud y el Proyecto de Residuos Electrónicos para América Latina (PREAL) están promoviendo el estudio de soluciones más eficientes para el desafío que representan estos residuos de CRT y estamos cooperando con la Carrera de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Costa Rica, que ha planteado el proyecto de investigación titulado “Propuesta de alternativas para la gestión de residuos de pantallas de tubos de rayos catódicos (CRT)” que tiene como objetivo general desarrollar una propuesta de alternativas de gestión viable para estos residuos en Costa Rica.

Como parte de las acciones del proyecto es necesario aplicar encuestas a los diferentes actores involucrados en la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), con el fin de identificar y obtener información sobre el procedimiento actual de los residuos con CRT en el país, así como los desafíos que ustedes enfrentan en la gestión de estos residuos.

Dirección de Protección Radiológica y Salud Ambiental
dpah@misalud.go.cr
(506) 2233-6922 / 2255-4512 Apdo. Postal.10123 – 1000 SJ.CR
www.ministeriodesalud.go.cr

MS-DPRSA-0687-2023

15 de agosto de 2023

Pág. 2

Para que la información obtenida sea lo más confiable posible necesitamos lograr la mayor cantidad de respuestas y esperamos contar con su apoyo a esta solicitud.

Encuesta para gestores: <https://forms.gle/Cd7dhLu8wZxhoZ7bA>

Encuesta para UC: <https://forms.gle/fj2LCV7NduGnJp19K9>

Muchas gracias, quedamos atentos a su respuesta, así como a cualquier duda o sugerencia.

Atentamente,

**EUGENIO
ANDROVETTO
VILLALOBOS
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por EUGENIO
ANDROVETTO
VILLALOBOS (FIRMA)
Fecha: 2023.08.16
09:36:31 -06'00'

Ing. Eugenio Androvetto Villalobos

Director DPRSA

 Archivo / Consecutivo

30RM/vagor

Dirección de Protección Radiológica y Salud Ambiental
dpah@misalud.go.cr
(506) 2233-6922 / 2255-4512 Apdo. Postal.10123 – 1000 SJ.CR
www.ministeriodesalud.go.cr